



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje



PROJEKT UREĐAJA ZA DESALINIZACIJU BOČATE VODE
REVERZNOM OSMOZOM

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.Dr.Sc. Slaven Dobrović

Boris Crnobrnja

Zagreb 2008.

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, primjenom znanja stečenih na Fakultetu Strojarsva i Brodogradnje, te uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Slavenu Dobroviću na pomoći pri izradi ovog rada. Isto tako želio bih se zahvaliti svojoj obitelji na podršci koju su mi pružali tokom studija, osobito mojoj majci.

Boris Crnobrnja

Sadržaj

Popis slika.....	5
Popis dijagrama.....	6
Popis tablica.....	9
Popis simbola.....	11
1. Uvod.....	13
2. Općenito o reverznoj osmozi.....	15
2.1. Osmoza.....	15
2.2. Reverzna osmoza.....	17
2.3. Membrana.....	20
3. Tehnologija reverzne osmoze.....	26
4. Analiza sustava.....	28
4.1. Protočni 2-stupanjski sustav.....	28
4.1.1. Specifična energija.....	29
4.1.2. Ulazni tlak.....	30
4.1.3. Tlak koncentrata.....	33
4.1.4. Prosječni fluks.....	35
4.1.5. Usporedba rezultata za protočni otvoreni sustav.....	38
4.2. Protočni 2-stupanjski sustav sa povratom koncentrata.....	42
4.2.1. Specifična energija.....	43
4.2.2. Ulazni tlak.....	44
4.2.3. Tlak koncentrata.....	47
4.2.4. Prosječni fluks.....	49

4.2.5. Usporedba rezultata za protočni otvoreni sustav sa povratom koncentrata.....	52
5. Odabir optimalne R/O jedinice.....	55
6. Osnovni proračun postrojenja.....	68
6.1. Predobrada vode.....	68
6.2. Dimenzioniranje R/O jedinice.....	87
6.3. Postobrada vode.....	89
7. Prikaz potrošnje kemikalija i specifične električne energije.....	93
8. Zaključak.....	95
Popis literature.....	96
Prilog - I dio.....	98
Prilog - II dio.....	*

*Napomena: Prilog-II dio nalazi se na cd-u.

Popis slika

Slika 2.1. Proces osmoze.....	15
Slika 2.2. Proces reverzne osmoze.....	17
Slika 2.3.1. Presjek R/O membrane.....	20
Slika 2.3.2. Tehnologija izrade R/O membrane.....	21
Slika 2.3.3. Princip rada R/O membrane.....	21
Slika 2.3.4. R/O membrana Hydranautics.....	22
Slika 2.3.5. Shematski prikaz rada R/O membrane.....	23
Slika 2.3.6. Promijena stupnja separacije.....	24
Slika 3.1. Shematski prikaz R/O jedinice.....	27
Slika 3.2. R/O sustav.....	27
Slika 4.1. ROSA programsko sučelje.....	28
Slika 4.2. IMSDesign programsko sučelje.....	42
Slika 6.1.1. Presjek zdenca sa mostićavim sitom.....	69
Slika 6.1.2. Shematski prikaz predobrade sirove vode - prva i druga dionica cjevovoda.....	71
Slika 6.1.5. Uređaj za dovod sirove i odvod čiste vode na pješčani filter.....	82
Slika 6.1.7. Stupnjevi separacije nečistoća u ovisnosti o njihovim dimenzijama.....	83
Slika 6.1.8. Kućište Hayward-Sideline.....	84
Slika 6.1.9. Dimenzije kućišta Hayward-Sideline.....	84
Slika 6.2. Membrana BW30LE-440.....	87
Slika 6.2.1. Shematski prikaz reverzno-osmotske jedinice.....	88
Slika 6.3.1. Shematski prikaz remineralizatora.....	90

Popis dijagrama

Dijagram 4.1.1a. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(5,5/4,3).....	29
Dijagram 4.1.1b. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(5,4/3,3).....	29
Dijagram 4.1.1c. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(4,4/3,2).....	29
Dijagram 4.1.1d. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(4,3/3,2).....	30
Dijagram 4.1.2a. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(5,5/4,3).....	30
Dijagram 4.1.2b. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(5,5/4,3).....	30
Dijagram 4.1.2c. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(5,4/3,3).....	31
Dijagram 4.1.2d. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(5,4/3,3).....	31
Dijagram 4.1.2e. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(4,4/3,2).....	31
Dijagram 4.1.2f. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(4,4/3,2).....	32
Dijagram 4.1.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(4,3/3,2).....	32
Dijagram 4.1.2h. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(4,3/3,2).....	32
Dijagram 4.1.3a. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(5,5/4,3).....	33
Dijagram 4.1.3b. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(5,5/4,3).....	33
Dijagram 4.1.3c. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(5,4/3,3).....	33
Dijagram 4.1.3d. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(5,4/3,3).....	34
Dijagram 4.1.3e. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(4,4/3,2).....	34
Dijagram 4.1.3f. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(4,4/3,2).....	34
Dijagram 4.1.3g. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(4,3/3,2).....	35
Dijagram 4.1.3h. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(4,3/3,2).....	35
Dijagram 4.1.4a. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	35
Dijagram 4.1.4b. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	36
Dijagram 4.1.4c. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	36
Dijagram 4.1.4d. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	36
Dijagram 4.1.4e. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	37
Dijagram 4.1.4f. Prikaz promjene prosiječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	37

Dijagram 4.1.4g. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).....	37
Dijagram 4.1.4h. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2)....	38
Dijagram 4.2.1a. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(5,5/4,3).....	43
Dijagram 4.2.1b. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(5,4/3,3).....	43
Dijagram 4.2.1c. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(4,4/3,2).....	43
Dijagram 4.2.1d. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(4,3/3,2).....	44
Dijagram 4.2.2a. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(5,5/4,3).....	44
Dijagram 4.2.2b. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(5,5/4,3).....	44
Dijagram 4.2.2c. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(5,4/3,3).....	45
Dijagram 4.2.2d. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(5,4/3,3).....	45
Dijagram 4.2.2e. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(4,4/3,2).....	45
Dijagram 4.2.2f. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(4,4/3,2).....	46
Dijagram 4.2.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(4,3/3,2).....	46
Dijagram 4.2.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(4,3/3,2).....	46
Dijagram 4.2.3a. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	47
Dijagram 4.2.3b. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	47
Dijagram 4.2.3c. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	47
Dijagram 4.2.3d. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	48
Dijagram 4.2.3e. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	48
Dijagram 4.2.3f. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	48
Dijagram 4.2.3g. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).....	49
Dijagram 4.2.3h. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2).....	49
Dijagram 4.2.4a. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	49
Dijagram 4.2.4b. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).....	50
Dijagram 4.2.4c. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	50
Dijagram 4.2.4d. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).....	50
Dijagram 4.2.4e. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	51

Dijagram 4.2.4f. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).....	51
Dijagram 4.2.4g. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).....	51
Dijagram 4.2.4h. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2).....	52
Dijagram 6.1.3. Radna točka prve dionice cjevovoda.....	72
Dijagram 6.1.4. Radna točka druge dionice cjevovoda.....	77
Dijagram 7.1. Prikaz proizvodnje i potrošnje pitke vode.....	93
Dijagram 7.2. Prikaz potrošnje antiskalanta i koagulanta tijekom dana.....	94

Popis tablica

Tablica 2.2. Usporedba efikasnosti uređaja za pročišćavanje voda.....	18
Tablica 2.3.1. Pregled membranskih postupaka.....	25
Tablica 5.1. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,5-4,3).....	55
Tablica 5.2. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,4-3,3).....	55
Tablica 5.3. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,4-3,2).....	56
Tablica 5.4. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,3-3,2).....	56
Tablica 5.5. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,5-4,3)-RC.....	57
Tablica 5.6. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,4-3,3)-RC.....	57
Tablica 5.7. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,4-3,2)-RC.....	58
Tablica 5.8. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,3-3,2)-RC.....	58
Tablica 5.9. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,5-4,3).....	59
Tablica 5.10. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,4-3,3).....	59
Tablica 5.11. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,4-3,2).....	60
Tablica 5.12. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,3-3,2).....	60
Tablica 5.13. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,5-4,3)-RC.....	61
Tablica 5.14. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,4-3,3)-RC.....	61
Tablica 5.15. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,4-3,2)-RC.....	62
Tablica 5.16. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,3-3,2)-RC.....	62
Tablica 5.17. Funkcionalni ROSA sustavi.....	63,64
Tablica 5.18. Funkcionalni IMSDesign sustavi.....	64,65
Tablica 5.19. Sustavi sa stupnjem iskoristivosti sirove vode od 60 i 65[%].....	65,66
Tablica 5.20. Recirkulirajući sustavi stupnja iskoristivosti između 60 i 65[%].....	66
Tablica 5.21. Optimalni sustavi.....	67
Tablica 5.22. Odabrani R/O sustav.....	67
Tablica 6.1. Svojstva sirove bočate vode.....	68
Tablica 6.1.2. Količina dodanih kemijskih elemenata pri predobradi vode.....	80

Tablica 6.1.3. Odabrane dozirne pumpe.....	81
Tablica 6.1.4. Odabrani kompresor.....	81
Tablica 6.1.5. Radni parametri pojedinog uređaja za dovod sirove i odvod čiste vode.....	82
Tablica 6.1.6. Odabrani vrećasti filteri.....	83
Tablica 6.1.7. Stupnjevi separacije i padovi tlaka na pojedinom vrećastom filteru.....	83
Tablica 6.2.1. Odabrani promjeri pojedine dionice sustava cjevovoda.....	87
Tablica 6.3.1. Sastav premeata nakon obrade.....	89
Tablica 6.3.2. Iskustvene vrijednosti ovisnosti promjera remineralizatora o protoku.....	91
Tablica 6.3.3. Iskustvene vrijednosti potrebnog volumena i mase sredstva za remineralizaciju...	92
Tablica 7.1. Pregled potrošnje specifične el.energije postrojenja.....	94

Popis simbola

Oznaka	Jedinica	Fizikalna veličina
θ	-	faktor vrtložnosti
λ	-	faktor trenja
ρ	[kg/m ³]	gustoća fluida
μ	[m ² /s]	koef.kinematičke viskoznosti
π	[Pa]	osmotski tlak
τ	[h]	vrijeme punjenja spremnika
τ	[h]	vrijeme punjenja spremnika
B	[mm]	visina cilindričnog dijela posude
c	[mol/l]	koncentracija otopine
C	[mg/l]	koncentracija soli u sirovoj vodi
C	[mg/l]	koncentracija soli u sirovoj vodi
C_p	[mg/l]	koncentracija soli u permeatu
d, D	[m]	promjer cjevovoda
g	9,81 [m/s ²]	ubrzanje zemljine sile teže
G_{hi}	[kg/h]	potrebna količina pojednog kemijskog spoja
h	[m]	geodetska visina
h_f	[m]	linijski gubici strujanja fluida
h_{fm}	[m]	lokalni gubici strujanja fluida
H_i	[m]	visina dobave pumpe
H_{fp}, H_n, H_s	[mm]	visina pojedine ispune pješčanog filtera
k	[mm]	hrapavost stijenke cijevi
K	-	lokalni otpor strujanju fluida

Oznaka	Jedinica	Fizikalna veličina
L	[m]	duljina cjevovoda
m_i	[kg]	masa pojedinog elementa
P_i	[Pa]	hidrostatski tlak
Δp	[Pa]	razlika tlaka
P_i	[kW]	nazivna snaga
Q	[m ³ /h]	protok sirove vode
Q_p	[m ³ /h]	protok permeata – čiste vode
Q_k	[m ³ /h]	protok koncentrata – retenata
Q_n	[m ³ /h]	nazivni protok
R	8 314 [J/Kmol]	opća (molarna) plinska konstanta
T	[K]	temperatura
w_i	[m/s]	brzina strujanja fluida
V_i	[m ³]	volumen
Y	[kJ/kg]	specifična energija

1. UVOD

Snabdijevanje pikom vodom i očuvanje okoliša predstavljaju jedan od glavnih problema današnje civilizacije. Tako da pitka voda postaje jedan od glavnih resursa XXI. Stoljeća. Razlog leži u činjenici kako dolazi do porasta broja stanovnika na Zemlji, a to na kraju uvjetuje i porast industrijske i poljoprivredne proizvodnje. S druge strane viši životni standard ali i duža „sušna razdoblja“ povećali su potrebu za pitkom vodom.

Postoje tri najveća izvora onečišćenja pitke vode, a to su: industrija, poljoprivreda i veliki gradovi. Kako raste broj stanovnika na Zemlji, tako dolazi do povećane portažnje za hranom. To na kraju ima posljedicu da dolazi do povećane upotrebe hrebicida, pesticida i insekticida koji onečišćuju izvore pitke vode. No razvojem svijesti o očuvanju okoliša postupno se dolazi do sve racionalnijeg korištenja pitke i tehnološke vode. Jedino je pitanje- da li se o tome moglo razmišljati i djelovati malo ranije?

Ljudski organizam dnevno troši svega nekoliko litara vode za piće, što ovisi prvenstveno o ponebdlju u kojem živi. Danas se procijenjuje kako je potrošnja vode po stanovniku u Europi između 250 i 350 litara na dan (ta brojka uključuje potrošnju industrijske i tehnološke vode).

Zbog smanjenja debljine ozonskog omotača, došlo je do pojave otapanja ledenjaka na zemljinim polovima. Istodobno se događa proces desertifikacije tj. dolazi do povećanja površina pustinja zbog klimatskih promjena uzrokovanim umjetnim izvorima onečišćenja- industrijom. To na koncu dovodi do smanjenja količina pitke vode u pojedinim područjima kao što su Turska, Izrael, Kina idr. Posljedica toga su potencijalni ratovi oko izvora kvalitetne pitke vode i prijetnja svjetskoj sigurnosti.

Republika Hrvatska danas spada u skupinu zemalja bogatim pitkom vodom sa 26 milijardi m³ pitke vode. S tim da je o tih 26 milijardi m³ pitke vode, 9 milijardi m³ otpada na obnovljive izvore pitke vode. Obzirom da 90% opskrbe pitkom vodom otpada na podzemne vode(koji se smatraju obnovljivim izvorima pitke vode), može se reći kako je Hrvatska na dobrom putu očuvanja svojih vodnih zaliha. Postavlja se pitanje- da li je RH u stanju zaštititi svoja prirodna bogatstva?

Problem pitke vode posjeduje i Republika Hrvatska u svojim obalnim područjima poput dalmatinskih otoka. To je jedan od osnovnih razloga imigracije i emigracije stanovništva iz tih područja tijekom prošlog stoljeća. No i danas predstavlja velik problem, pogotovo za razvoj turizma koji je jedan od glavnih gospodarskih oslonaca RH.

Važnost kvalitetne pitke vode pri tome nije potrebno naglašavati. Kako doći do pitke vode u otočnom području godinama je predstavljalo jedan od najvećih problema za razvoj turizma. Pogotovo ako uzmemo u obzir činjenicu kako je turizam sezonska djelatnost u najvećem broju turističkih odredišta.

Razvojem znanosti i industrije došlo je do razvoja i novih proizvodnih tehnika i tehnologija kao što su membranski postupci obrade sirovih voda. Danas se tlačni postupci reverzne osmoze i nanofiltracije (RO/NF) svrstavaju u najmodernije tehnologije obrade voda. Razvojem „nanotehnologije“ membranski postupci su doživjeli revoluciju zbog visoke separacijske učinkovitosti i ekološke prihvatljivosti. Isto tako valja naglasiti kako su postrojenja za reverznu osmozu i nanofiltraciju fleksibilna u svom radu što omogućuje bolju iskoristivost sirove vode.

Postupci desalinizacije morske i bočate vode na jadranskim otocima omogućuje gospodarski razvoj turističkih odredišta koje su bila u „drugom planu“ zbog nedostatka pitke vode. Uzimajući u obzir činjenicu kako su takva mjesta bila u svojevrsnoj civilizacijskoj izoliranosti, njihove prirodne ljepote nisu bile dovoljno istražene niti iskorištene. Kako je riječ o ekološki prihvatljivoj tehnologiji pretpostavlja se da će u budućnosti biti jedna od prekretnica razvoju turizma u RH. Pogotovo ako uzmemo u obzir činjenicu da cijena te tehnologije svakim danom postaje sve pristupačnija.

2. OPĆENITO O REVERZNOJ OSMOZI

2.1. OSMOZA

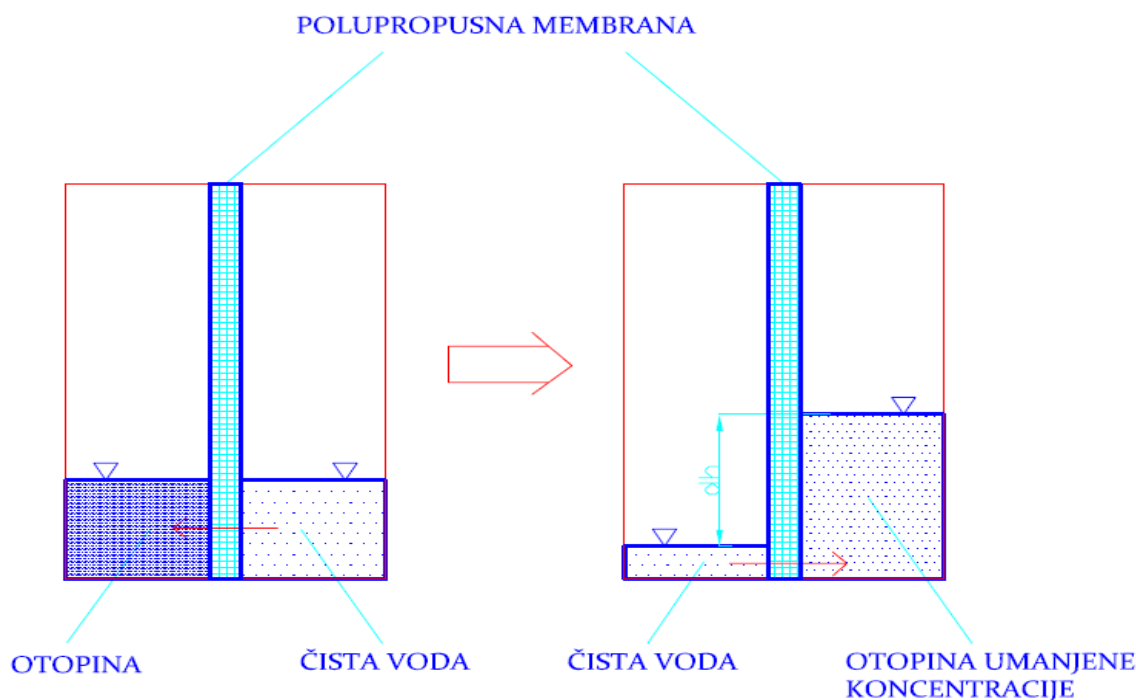
Prirodni zakoni funkcioniraju na način da svaki sustav koji nije u ravnoteži, teži k uspostavljanju prirodne ravnoteže. Ako imamo sustav u kojem vlada određena neravnoteža, u tom će slučaju doći do težnje i procesa unutar, a ponekad i van granica sustava, prema uspostavi ravnoteže istog. Prema tome, u slučaju da imamo unutar nekakvog kontrolnog volumena pojavu neravnoteže određenih fizikalnih veličina, doći će do pojave difuzije tvari tj. prijelaza iz područja više u područje niže koncentracije.

Poseban slučaj difuzije je slučaj osmoze. Ta pojava može biti prirodna, ali i umjetno stvorena.

Osmoza je prirodni proces u kojem nekakva tekućina (npr.voda) prelazi kroz polupropusnu membranu u nekakvu otopinu. Ta pojava se može naći u sustavima, bilo prirodnim ili umjetnim, u kojima su dvije tekućine različitih koncentracija odijeljene polupropusnom membranom. Obzirom na to da je riječ o različitim koncentracijama otopljenih tvari, dakle uzimajući u obzir činjenicu kako svaki sustav teži uspostavljanju ravnoteže, doći će do strujanja tekućine u smjeru otopine sa većom koncentracijom.

Veličina pora membrane definira kolike dimenzije otopljenih tvari tj.nečistoća, minerala, virusa i bakterija će propustiti prilikom izjednačavanja koncentracije na obje strane membrane.

Pojava osmoze na polupropusnoj membrani prikazana je na sljedećoj slici [1]:



Slika 2.1. Proces osmoze.

Proces osmoze se odvija dok se koncentracija otopine s obe strane ne izjednači tj. dok se hidrostatski tlak ne izjednači s obje strane polupropusne membrane. Kada se postigne ravnoteža, broj molekula koje prolaze kroz membranu u jednom smjeru, jednak je broju molekula koje prolaze kroz membranu u suprotnom smjeru.

Razlika hidrostatskih tlakova s obje strane membrane u stanju ravnoteže naziva se osmotski tlak i računa se prema izrazu [1]:

$$\Pi = c * R * T;$$

gdje je: π – osmotski tlak [Pa];

R – opća (molarna) plinska konstanta 8,314 [J/Kmol];

c – koncentracija otopine [mol/l];

T – temperatura [K].

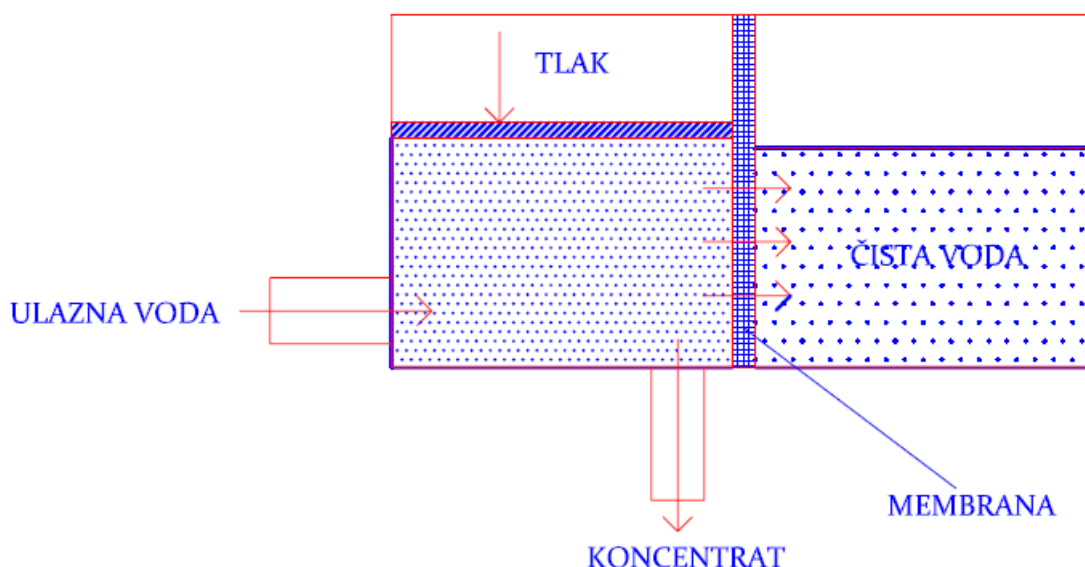
Ovaj izraz je poznat kao van't Hoffov zakon, a glasi:

Osmotski tlak otopine jednak je po veličini onome tlaku što bi ga otopljena tvar imala kad bi se u plinovitom stanju nalazila na danoj temperaturi, u volumenu jednakom volumenu otopine. Tako da se za otopine koje imaju jednake osmotske tlakove može reći kako su izotonične. No ako se hidrostatski tlak toliko poveća da tekućine počne teći u smjeru obrnutom od prirodne osmoze, dolazi do pojave reverzne osmoze.

2.2. REVERZNA OSMOZA

Obrnuta (reverzna) osmoza, također poznata i kao hiperfiltracija je skoro savršen proces filtriranja vode. Ovaj proces omogućava odstranjivanje najsitnijih čestica iz vode. Obrnuta osmoza se koristi za prečišćavanje vode i odstranjivanje anorganskih minerala, soli i ostalih nečistoća u cilju poboljšavanja kemijskog sastava, izgleda, okusa i ostalih svojstava vode.

Na slici ispod prikazan je osnovni princip djelovanja reverzne osmoze [1]:



Slika 2.2. Proces reverzne osmoze.

Nakon poznatih načina prečišćavanja vode industrijskom filtracijom, prokuhavanjem i kloriranjem, došlo se do tehnički skoro savršenog načina filtracije vode, koja gotovo od svake vode može načiniti pitku. To je postupak obrnute osmoze. Osmozne membrane koje se koriste u ovom postupku imaju toliko sitne otvore da kroz njih mogu proći gotovo samo molekule čiste vode, a sve nečistoće ostaju na membrani i izbacuju se preko odvoda kao tehnička otpadna voda ili se ponekad dio te vode vraća u obliku recirkulirajućeg koncentrata. Da bi se voda određenog saliniteta (TDS) mogla pročititi potrebno ju je stlačiti na određeni tlak; ako je riječ o bočatoj vodi tada se ona tlači na tlak 2-17 [bar]-a, a ako je riječ o morskoj vodi tada se tlači i 40-80 [bar]-a. Isto tako treba naglasiti kako se ovaj sustav pročišćavanja može upotrijebiti za vode koje sadrže u sebi do 45 000 [mg/l].

Ovakvim načinom pročišćavanja dobiva se pitka voda visokog kvaliteta koja se može koristiti i u medicinske svrhe. U ovom procesu se koristi polupropusna membrana koja propušta tečnost koja se pročišćava, istovremeno odbacujući ostale sastojke. Naravno da s vremenom korištenja jedne membrane dolazi do smanjenog učinka filtracije. Tako da će količina permeata i koncentrata biti različita na različitim vremenskim intervalima.

Prednosti korištenja čiste vode:

- preporučljiva je za novorođenčad,
- ne mijenja aromu hrane prilikom kuhanja (naprotiv, ukusi su puno intenzivniji jer voda nije prezasićena kamencem i može rastopiti više supstanci iz hrane),
- ubrzava metabolizam pa je nezamjenljiva kod dijeta,
- idealna je za čajnike, pegle na paru i druge uređaje jer ne ostavlja naslage kamenca,
- sigurno čista voda u slučaju ekoloških havarija ili oštećenja vodovodnih cijevi,
- pruža financijsku uštedu u odnosu na kupovanje vode u trgovini,
- uvijek je ima u dovoljnoj količini bez kupovanja i nošenja,
- snižava nivo šećera u krvi kod dijabetičara,
- normalizira povišeni pritisak,
- snižava nivo masnoća u krvi,
- umirujuće djeluje na pacijente s gastritisom ili poremećajima probavnog trakta,
- voda ne sadrži toksične elemente ...

Na slici ispod prikazana je usporedba tehnoloških obrada voda [2]:

**EFIKASNOST UREĐAJA ZA UKLANJANJE ZAGAĐIVAČA VODE
(KRITERIJI SVJETSKJE ZDRASTVENE ORGANIZACIJE)**

Supstance koje se uklanjaju	Filter sa vlaknima	Filter sa aktivnim ugljenom	Reverzna osmoza	ionski izmjenjivač	Destilacija	UV dezinfekcija
Nazirijum	-	-	++	++	++	-
Arsen	-	-	++	++	++	-
Olovo	-	-	++	++	++	-
Kadmijum	-	-	++	++	++	-
Kalijum	-	-	++	++	++	-
Sulfati	-	-	++	++	++	-
Tvrdoća (ca)	-	-	++	++	++	-
Tvrdoća (mr)	-	-	++	++	++	-
Nitrati	-	-	++	++	++	-
Kloridi	-	-	++	-	++	-
Fakalne bakterije	-	-	++	-	++	++
Virusi	-	-	++	-	++	++
Protozoe ciste*	++	-	++	-	++	+
Organske materije	-	++	++	-	+	-
THIMI THE **	-	++	++	-	+	-
Klor	-	++	++	-	+	-
Pesticidi	-	++	++	-	+	-
Sediment materije	++	+/-	++	-	++	-
Boja i ukus	-	++	++	-	-	-
Azbest	++	-	++	-	++	-

Legenda:

- - Bez efekta,
- +/- Neke reducira djelomično
- + Dobro uklanja
- ++ Veoma dobro uklanja
- * Zahtjeva filter sa reverzibilnom osmozom i tada je efikasno uklanja
- ** Trihalometani - THE-Trihaloetilen

Tablica 2.2. Usporedba efikasnosti uređaja za pročišćavanje voda.

U prirodi postupak osmoze koriste biljke, putem koje iz sredine sa manjim unutrašnjim pritiskom, kao što je zemlja, crpe hranjive materije i prenose ih polupropusnim membranama i do zadnjeg lista na njihovom vrhu. U osmoznoj membrani se događa obrnut proces. Otvori na polupropusnoj osmoznoj membrani su toliko mali da zadržavaju najveći dio nečistoća iz vode, čak i molekularne spojeve. Najmanja poznata bakterija veličine je 0,2 mikrona, najmanji virus 0,002 mikrona, a otvor na polupropusnoj membrani veličine je 0,0005 mikrona. Iz ove usporedbe je vidljivo da niti virus niti bakterija ne mogu proći kroz otvor na membrani.

Kada voda zajedno sa prisutnim nečistoćama dođe na osmoznu membranu, njen tok se disperzira u dva djela: probojni koji prolazi kroz otvore membrane i predstavlja pročišćenu vodu-permeat, i koncentrirani koji zajedno sa zadržanim nečistoćama odlazi u odvod u obliku tehničke otpadne vode-koncentrat.

Sistem obrnute osmoze su prvobitno usavršili američki znanstvenici nakon Drugog svjetskog rata, a početkom razdoblja Hladnog rata. Vlada SAD-a počela je investirati stotine miliona dolara u cilju pronalaska najbolje metode tretiranja i pročišćavanja pitke vode kao mjere predostrožnosti u slučaju napada kemijskim i biološkim oružjem. Tokom šezdesetih godina tehnologija obrnute osmoze koristila se isključivo u vojne svrhe. 1962 godine, vlada SAD-a gradi prva postrojenja dnevno proizvodeći 3.000 litara vode, isključivo za potrebe vojnog osoblja.

Danas obrnuta (reverzna) osmoza ostaje metoda koja najviše doprinosi zdravom načinu življenja, pa se stoga ovaj patent smatra jednim od najvećih tehnoloških prekretnica u ovom vijeku. Ako samo krenemo od toga da je pika voda jedan od najvećih problema u svijetu, tada razvojem ove tehnologije treba dati poseban značaj.

2.3. MEMBRANA

Membrana predstavlja fizikalnu barijeru koja spriječava prolaz česticama i otopljenim tvarima, a kolika će biti njena selektivnost, ovisi o veličini pora cijelokupne membrane.

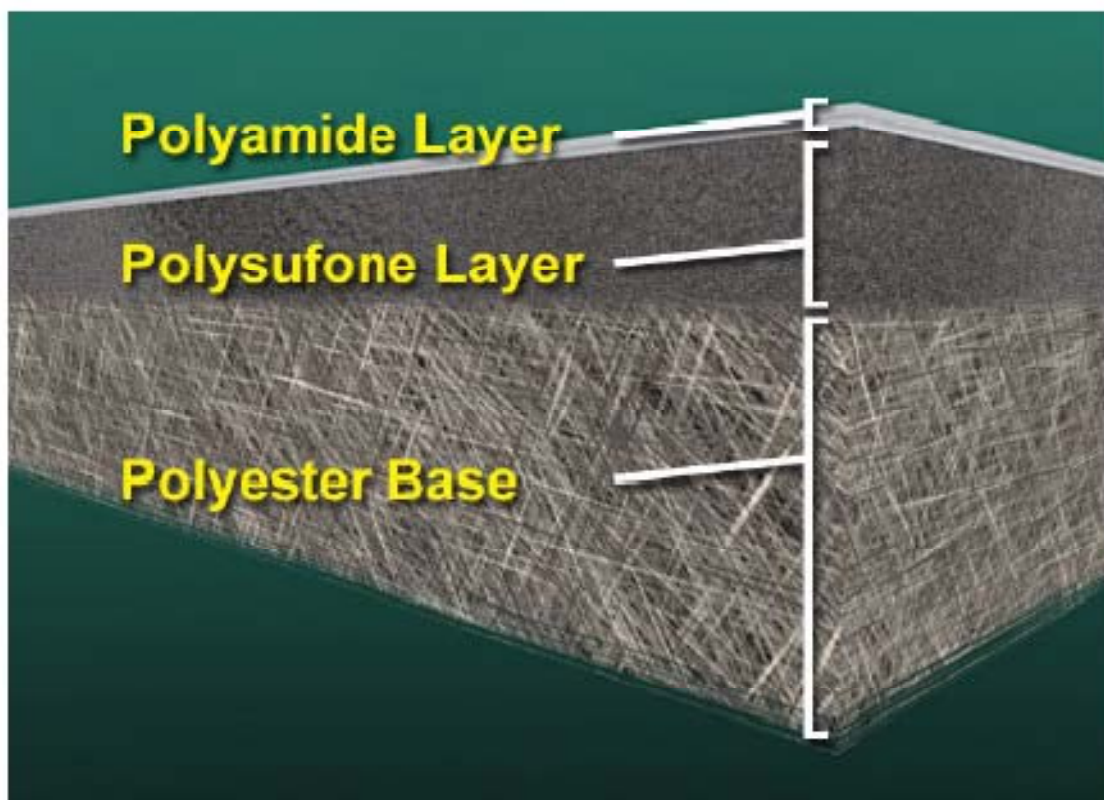
Postoje dva osnovna načina djelovanja membrane:

1. Primjena membrane bez formiranja toka koncentrata – klasična filtracija (dead end filtration);
2. Primjena membrane uz formiranje dva toka (koncentrat i filtrat) – filtracija uz tangencijalni tok (cross flow filtration).

Membrana je tanki kompozitni materijal koji se sastoji od tri dijela, to su: poliesterska potporna mreža – Polyester Base, mikroporozni polisulfonatni središnji sloj – Polysulfone Layer i jako tanki površinski dio (načinjen od poliamida) – Polyamide Layer.

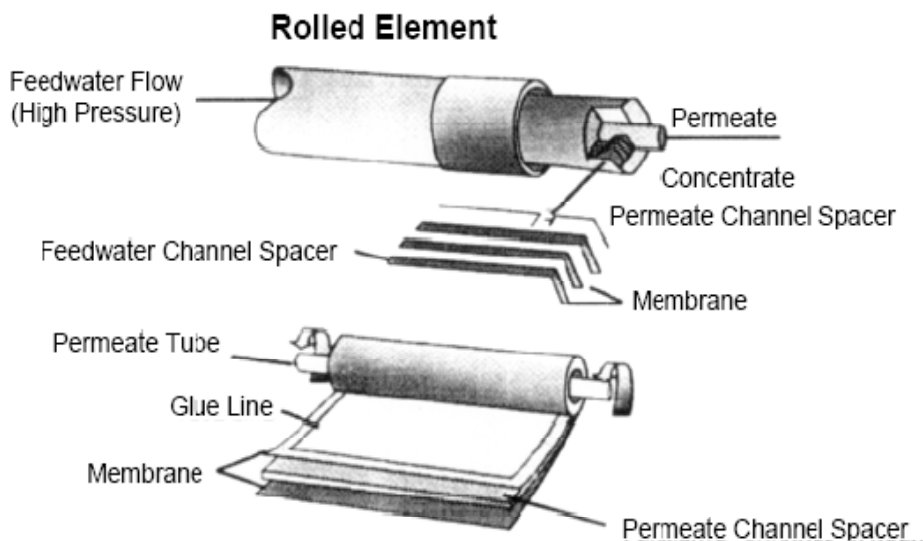
Njen osnovni zadatak je zadržavanje otopljenih soli, virusa i bakterija u svrhu pročišćavanja sirove vode. Ovisno o vrsti vode tj. o njenom sastavu, temperaturi, pH vrijednosti i namijeni pročišćene vode; ovisit će koja će se membrana upotrijebiti.

Presjek jedne takve membrane prikazana je na sljedećoj slici:



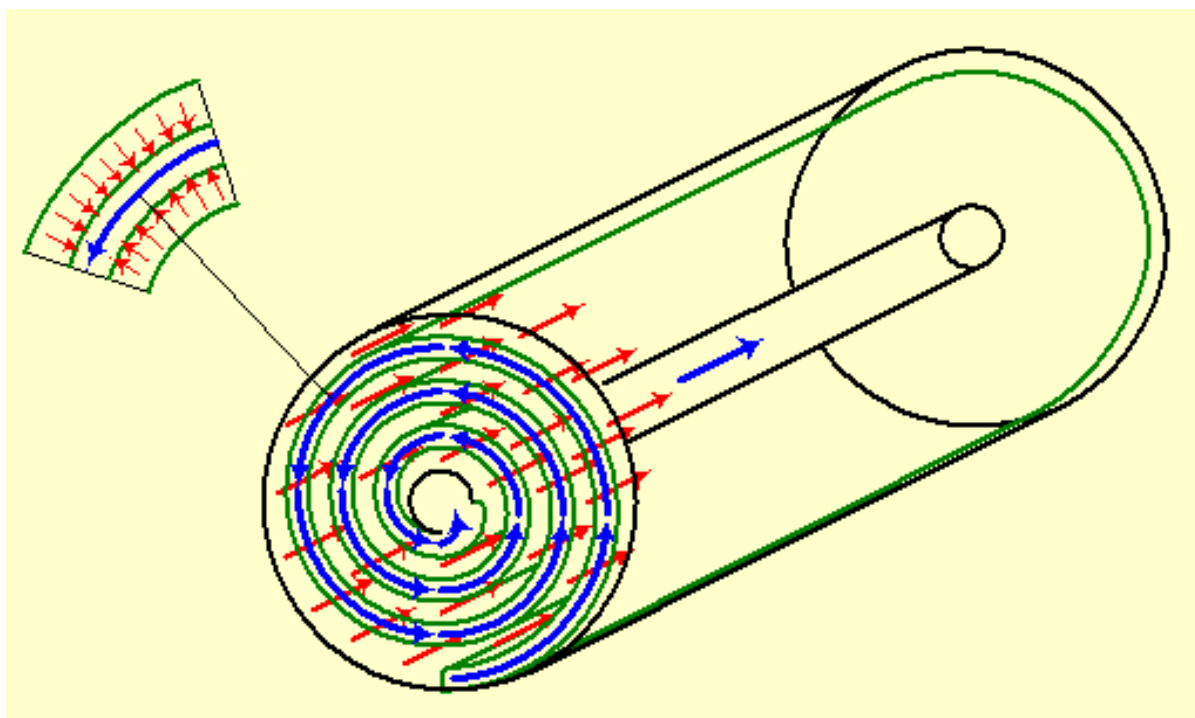
Slika 2.3.1. Presjek R/O membrane [3].

Na slici ispod prikazana je tehnologija izrade jedne FlimTec-ove membrane [4]:



Slika 2.3.2. Tehnologija izrade R/O membrane.

Na slici ispod prikazan je princip rada jedne membranske jedinice [4]:



Slika 2.3.3. Princip rada R/O membrane.

Sirova voda dolazi sa vanjske strane (crvena boja), dok permeat ili pročišćena voda prolazi kroz membranu u cijev (plava boja). Ostatak vode (koncentrat) prolazi kroz membranu, nakon čega se može podvrgnuti naknadnoj obradi.

Danas se najčešće navode dva proizvođača: 1. Hydranautics;

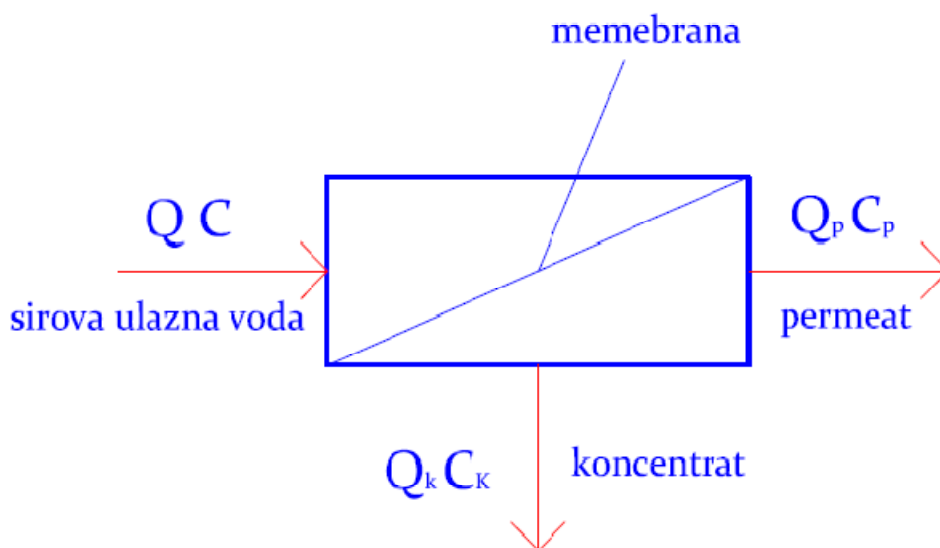
2. Dow Chemical.

Na slici ispod prikazan je stvarni izgled membrane izrađene od strane Hydranautics-a:



Slika 2.3.4. R/O membrana Hydranautics [5].

Kod primjene membrane kroz formiranje toka koncentrata, membranskom separacijom se ulazni tok sirove vode (influenta) dijeli na dva izlazna toka (efluenta) tj. na permeat i koncentrat. Ovaj dio fluida koji je prošao kroz membranu je permeat, a dio fluida koji je ostao na istoj strani membrane unatoč djelovanju tlaka je koncentrat. Na slici ispod je objašnjen princip djelovanja membrane [1]:



Slika 2.3.5. Shematski prikaz rada R/O membrane.

Stupanj konverzije ili iskorištenje je definirano izrazom [1]: $Y = Q_p / Q$ (recovery or conversion).

Gdje je:

Q – protok sirove vode [m^3/h];

C – koncentracija soli u sirovoj vodi [mg/l];

Q_p – protok permeata – čiste vode [m^3/h];

C_p – koncentracija soli u permeatu [mg/l];

Q_k – protok koncentrata – retenata [m^3/h];

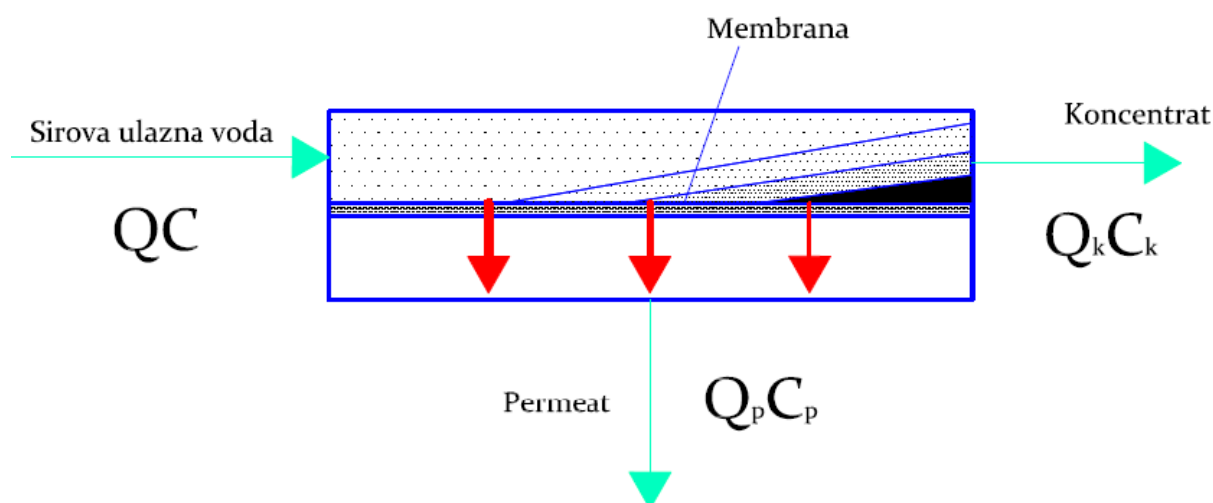
C_k – koncentracija soli u koncentratu [mg/l].

Taj se stupanj kreće od 30 do 95[%], što ovisi najviše o vrsti i količini (odnosno o fizikalnom i kemijskom sastavu) sirove vode. Glavna karakteristika takvog sustava je u veličini stupnja iskorištenja. Ako je stupanj iskorištenja veći, tada potrošnja specifične energije manja po m^3 permeata, razlog leži u činjenici što je tada potrebna manja količina ulazne vode tlačiti na radni tlak membranskog sustava.

Prijelazom iz optimalnog režima rada u područje manjeg iskorištenja, dolazi do negativnih pojava. Naime, dolazi do stvaranja depozita na površinama membrane što na koncu dovodi do smanjenja količine i kvalitete koncentrata.

Početni stupanj separacije ili zadržavanja (onečišćenja, soli, virusa, bakterija) membrane iznosi $C - C_p / C$. No kako se koncentracija soli tj. zasićenost vode povećava prolaskom kroz membranu, dolazi do prelaska vode iz stanja sirove vode u stanje koncentrata. Tako da se na koncu dobije stupanj separacije koji je veći i iznosi $C_k - C_p / C_k$. Na taj način se smanjuje količina premeata, a povećava količina soli koja prolazi kroz membranu.

Na slici je prikazan proces membranske separacije soli [1]:



Slika 2.3.6. Promijena stupnja separacije.

Stupanj separacije ili zadržavanja soli definiran je izrazom [1]: $R = C - C_p / C = 1 - C_p / C$.

Veličina stupnja separacije ovisi o vrsti soli otopljenih u sirovoj vodi i vrsti membrane kojom se vrši separacija. Tako za RO membrane se ona kreće od 96 do 99,6[%].

Pregled membranskih postupaka prikazan sljedećom tablicom [1]:

	Mikrofiltracija	Ultrafiltracija	Nanofiltracija	Reverzna osmoza
Područje odvajanja	0,1 – 1 [μm]	0,002 – 0,1 [μm]	1 – 10 [μm]	0,1 – 1 [nm]
Primjena	Uklanjanje bakterija, flokuliranih tvari, suspendiranih tvari	Uklanjanje koloida, proteina, virusa, bakterija, većih organskih molekula	Uklanjanje soli; stupanj separacije R: Monovalentne (NaCl) = 20-80% Polivalentne (CaSO_4) = 90-98% Smanjenje sadržaja organskih tvari	Desalinizacija, uklanjanje svih tvari iz vode (osim plinova)
Transmembranski tlakovi	0,7 [bar]	1 – 7 [bar]	3,5 – 16 [bar]	5 – 85 [bar]

Tablica 2.3.1. Pregled membranskih postupaka.

3. TEHNOLOGIJA REVERZNE OSMOZE

Tehnologija reverzne osmoze danas predstavlja revolucionarno otkriće. Ova tehnologija se prva počela upotrebljavati još 60-ih godina prošlog stoljeća u vojne svrhe. A danas poprima sve veće razmjere u civilnom životu.

Kako je riječ o tehnologiji koja je još u začetku svoga razvoja, tako njen potencijal danas nije iskorišten do kraja. U budućnosti bi mogla odigrati veliku ulogu u pogledu rješavanja problema pitke vode u područjima svijeta koja su dosad bila nepogodna za život.

Danas postoje dvije, već spomenute, tvrtke koje se bave ovom tehnologijom, to su Dow Chemical i Hydranautics. One danas zauzimaju najveći dio tržišta vezanu za tehnologiju RO.

Kako bi postigle što polje ekonomske rezultate, te dvije tvrtke su razvile kompletne sustave za predobradu, obradu i postobradu sirove vode. Uz to što su proizvođači opreme, razvile su i programe koji služe za simulaciju rada njihovih proizvoda. Tako je Dow Chemical razvio software-ski paket po imenu ROSA (Reverse Osmosis Software Analysis), dok je Hydranautics razvio software-ski program IMSDesign.

Obzirom da je riječ o dva slična programa, istodobno je provedena analiza u oba programa u svrhu daljnje usporedbe rezultata. Tako su simulacijska rješenja koja su od velike pomoći pri analizi i optimiranju postrojenja za pročišćavanje bočate vode u pitku vodu tehnologijom reverzne osmoze.

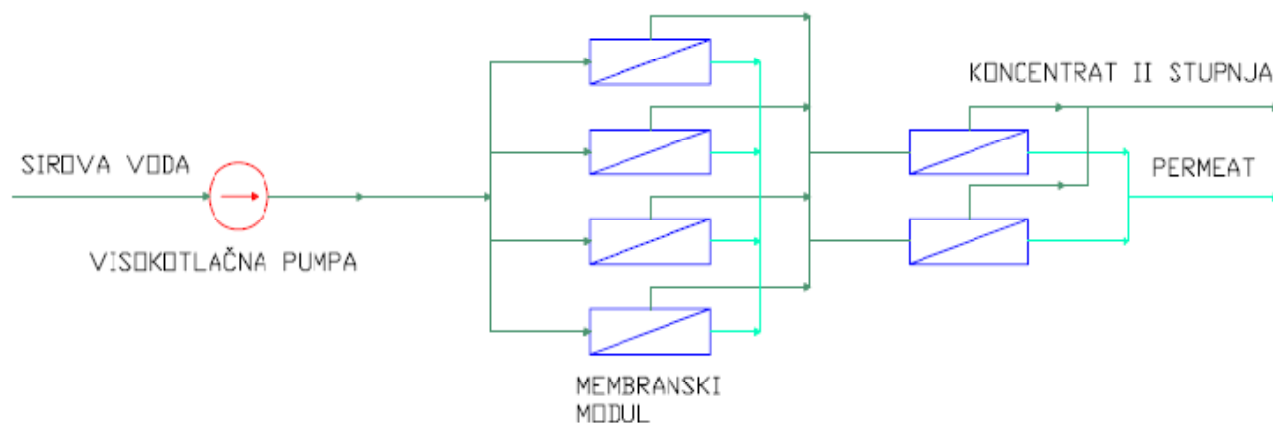
Struktura sustava za reverznu osmozu ponekad može, ali ponekad i ne mora, biti komplicirana. Upravo zahvaljujući razvoju programa za simulaciju rješenja, danas izbjegavamo dugotrajan proces ručnog proračuna sustava RO. Tako uz pomoć tih programskih rješenja možemo u relativno kratkom razdoblju dobiti relativno precizna rješenja-sastav vode nakon njnog prolaska kroz RO jedinicu za pročišćavanje vode.

Kakva će biti struktura toga sustava, koje će se membrane upotrijebiti, koliki je njihov broj i raspored, ovisi prvenstveno o, količini sirove vode, sastavu sirove vode, željenom sastavu pročišćenje vode, te o investicijskim troškovima.

Sam princip rada takvog postrojenja temelji se na tome da, u cijevi unutar kojih vlada narinuti tlak od starne visoko-tlačne pumpe, se postavljaju serijski spojeni membranski elementi. U tu cijev ulazi sirova voda, a iz nje izlaze dvije vrste vode, ona pročišćena-permeat i ona koja nije prošla kroz membranu-koncentrat. Nečistoće se u tom slučaju zadržavaju na površini membrane. Potom se permeat šaljena daljnju postobradu, dok se koncentrat može ili odbaciti kao tehnička otpadna voda ili se može ponovno odvesti u membranski sustav na daljnje pročišćavanje.

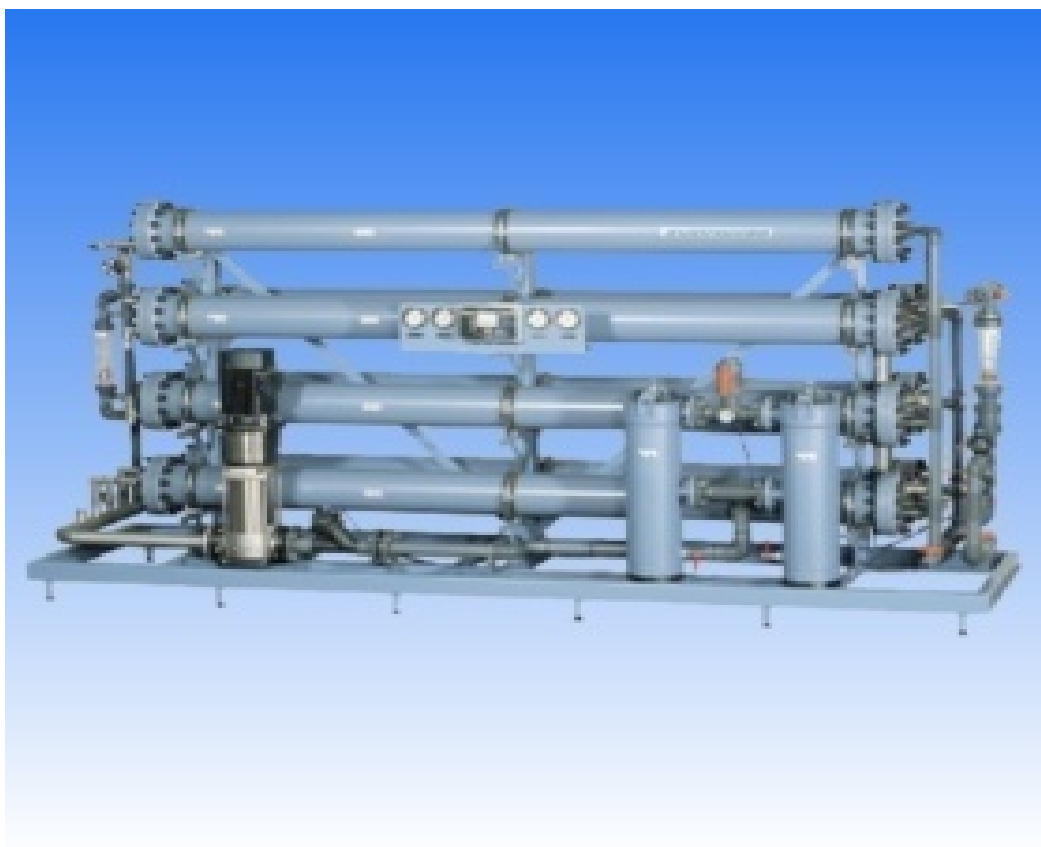
Ukupna količina otopljenih soli (TDS) i broj membranskih elemenata definiraju tlak koji mora osigurati visoko-tlačna pumpa. Vrijednosti tih tlakova se mijenjaju od maksimalnih 17 [bar]-a za bočatu vodu, do maksimalnih 80 [bar]-a za morsku vodu. Naravno, tu još postoji mogućnost u slučaju da imamo višestupanjski sustav, mogućnost podizanja tlaka između stupnjeva kako bi se osigurao veći prolaz permeata-odnosno kako bi se osigurao veći flux izražen u $[l/m^2h]$.

Jedna shema dvostupanjskog otvorenog sustava prikazana je na sljedećoj slici [5]:



Slika 3.1. Shematski prikaz R/O jedinice.

Na slici ispod je prikazano postrojenje za tehnologiju reverzne osmoze-Eurotec 03 učina do 33,6 [m³/h] (proizvođač Aquatec d.o.o.) [6]:



Slika 3.2. R/O sustav.

4. ANALIZA SUSTAVA

4.1. PROTOČNI 2-STUPANJSKI SUSTAV

Analiza protočnog dvostupanjskog sustava provedena je u ROSA-i i IMSDesign-u. Rezultati simulacije uspoređivani su na način da je pojedina fizikalna veličina, čija je vrijednost dobivena iz ova dva programa, uspoređivana na istom dijagramu za slučajeve dviju sličnih membrana. Podaci su dobiveni mijenjajući vrijednost na apscisi tj. mijenjajući iskoristivost(eng.recovery) unutar granica od 60 do 90 [%]. Iskoristivost predstavlja omjer količine vode koja se crpi iz izvora i maksimalne raspoložive količine izvora.

U ovom slučaju postoje dva stupnja unutar kojih se mijenjao broj tlačnih cijevi i pojedinih membrana unutar tih cijevi. Za usporedbu uzete su dvije, po tehničkoj specifikaciji, slične membrane. Riječ je o membrani ESPA2+ čiji je proizvođač Hydranautics i o membrani BW30LE-440 čiji je proizvođač Dow Chemical.

Kako je riječ o otvorenom sustavu, tada se permeat dalje tretira pomoću postobradbenog sustava, dok se koncentrat (tj.ona količina vode koja nije prošla kroz pore membrane zajedno sa svojim nečistoćama i pripadajućim tvarima) odbacuje u obliku otpadne tehničke vode.

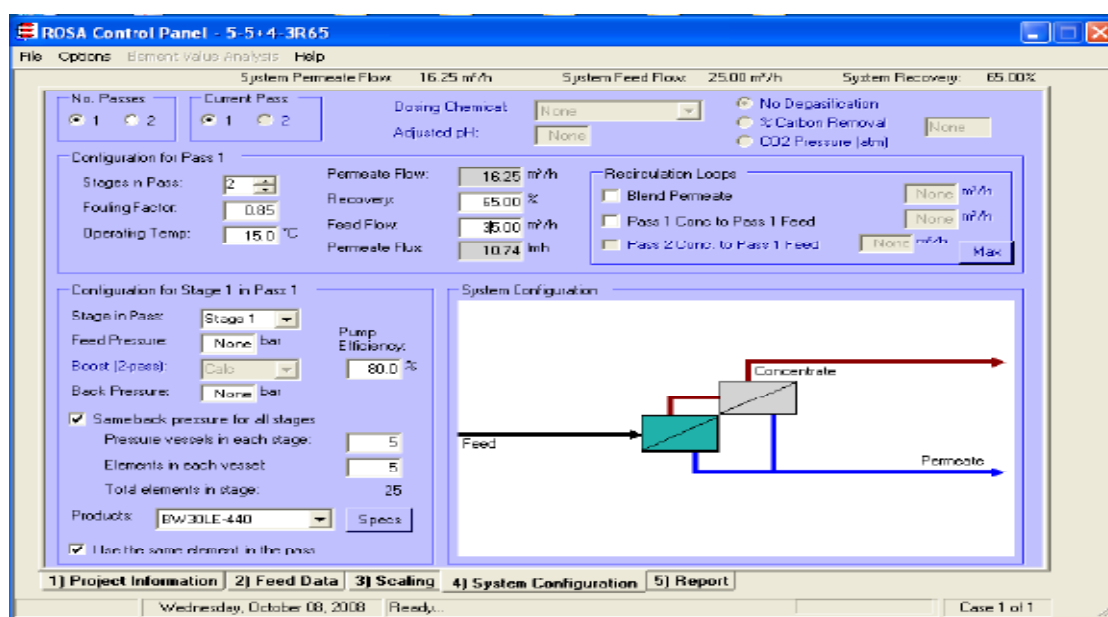
Provedenom simulacijom uspoređivane su sljedeće veličine:

a.) specifična energija na prvom i drugom stupnju [kWh/m^3].

b.) ulazni tlak na prvom i drugom stupanj [bar];

c.) tlak koncentrata na prvom i drugom stupnju [bar].

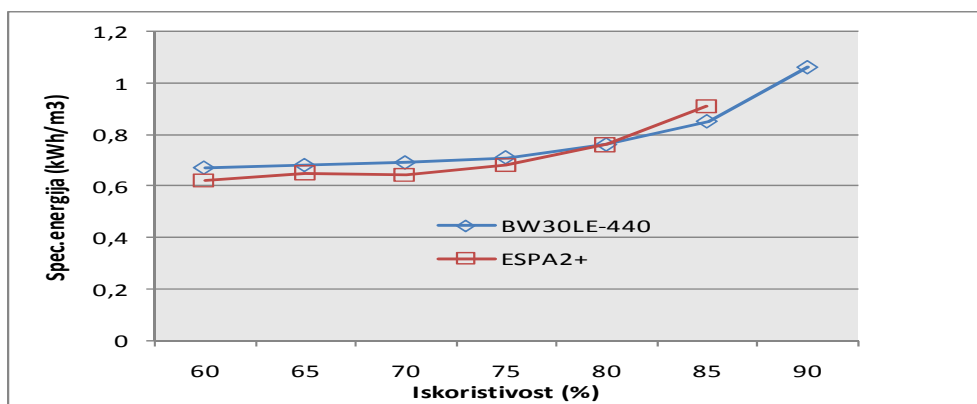
Na slici ispod prikazan je 2-stupanjski otvoreni sustav u ROSA-i:



Slika 4.1. ROSA programsko sučelje.

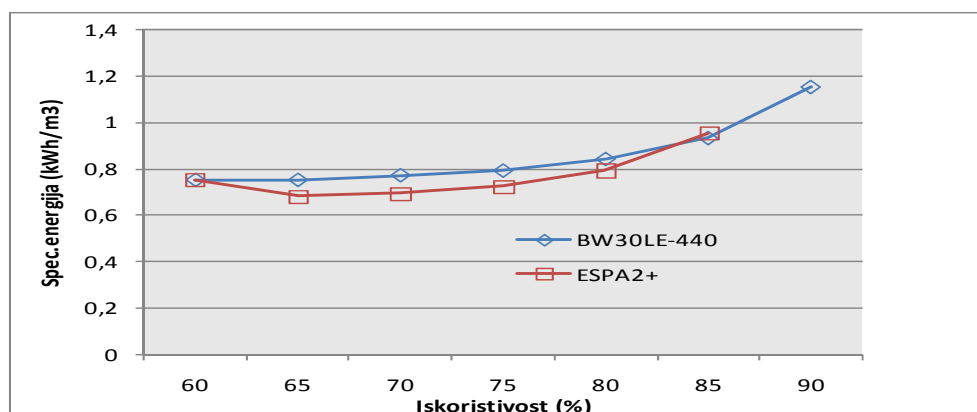
4.1.1. SPECIFIČNA ENERGIJA

RX(5,5/4,3)



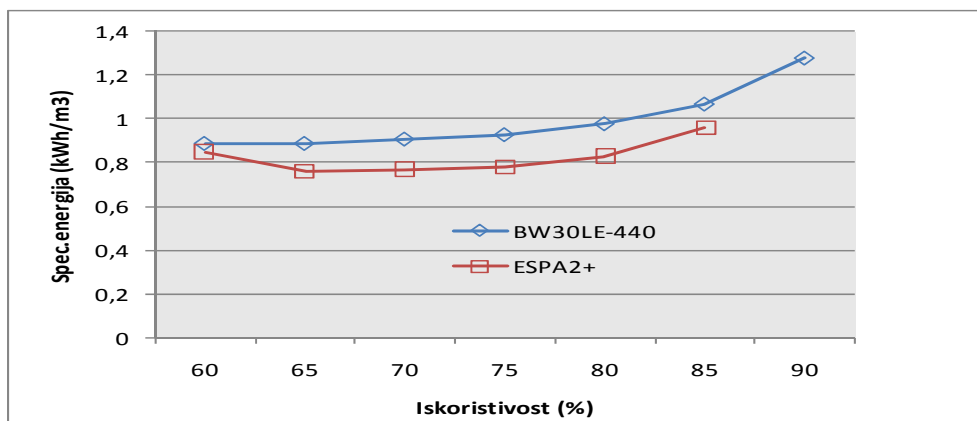
Dijagram 4.1.1a. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(5,5/4,3) .

RX(5,4/3,3)



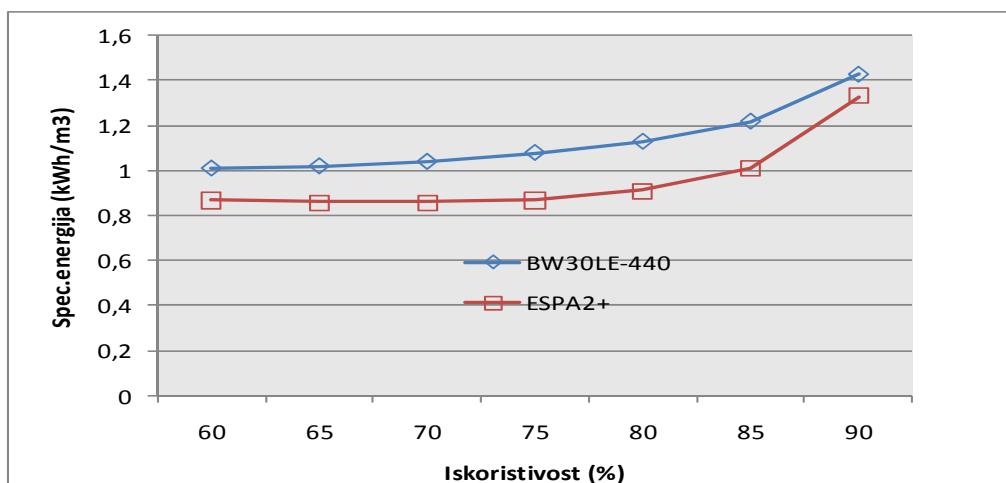
Dijagram 4.1.1b. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2)



Dijagram 4.1.1c. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(4,4/3,2).

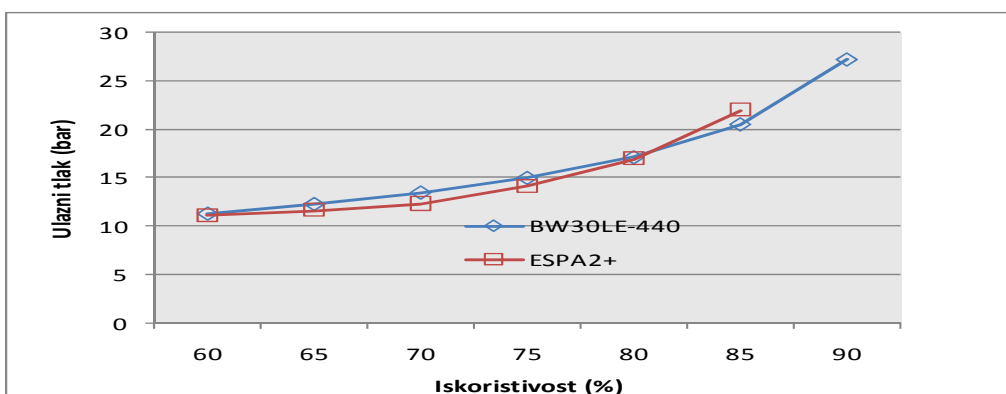
RX(4,3/3,2)



Dijagram 4.1.1d. Prikaz promjene spec.energije za sustav RX(4,3/3,2).

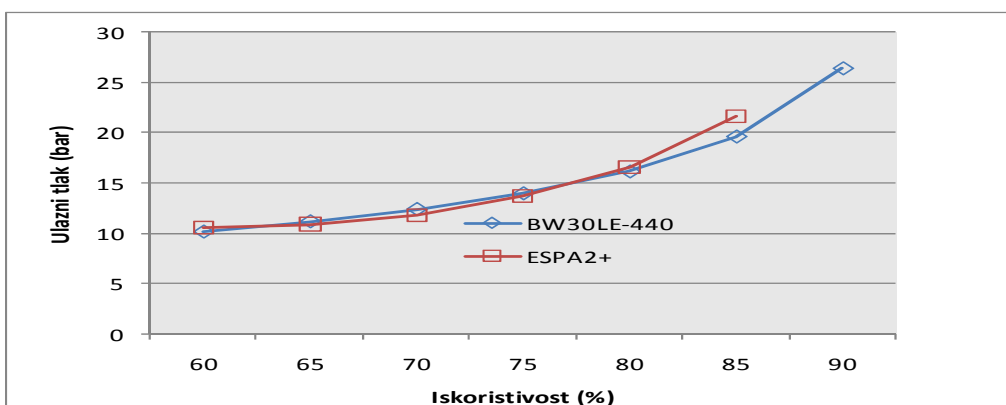
4.1.2. ULAZNI TLAK

RX(5,5/4,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



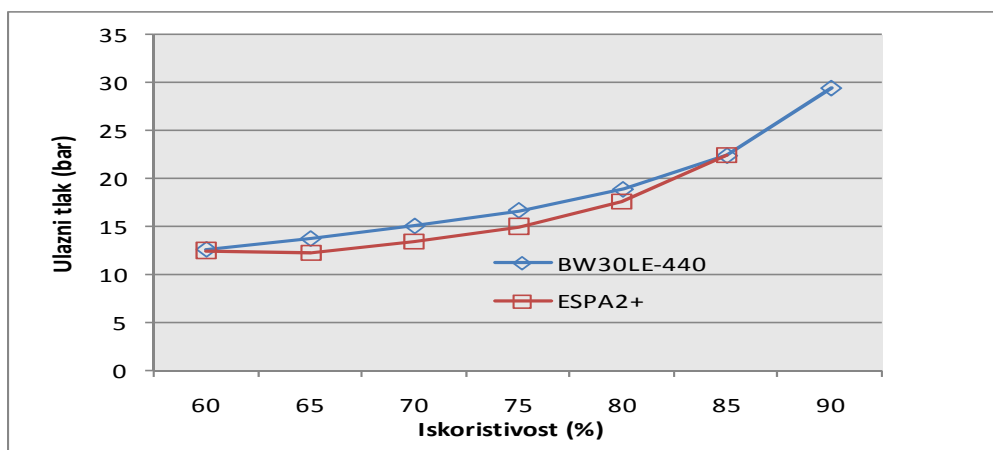
Dijagram 4.1.2a. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



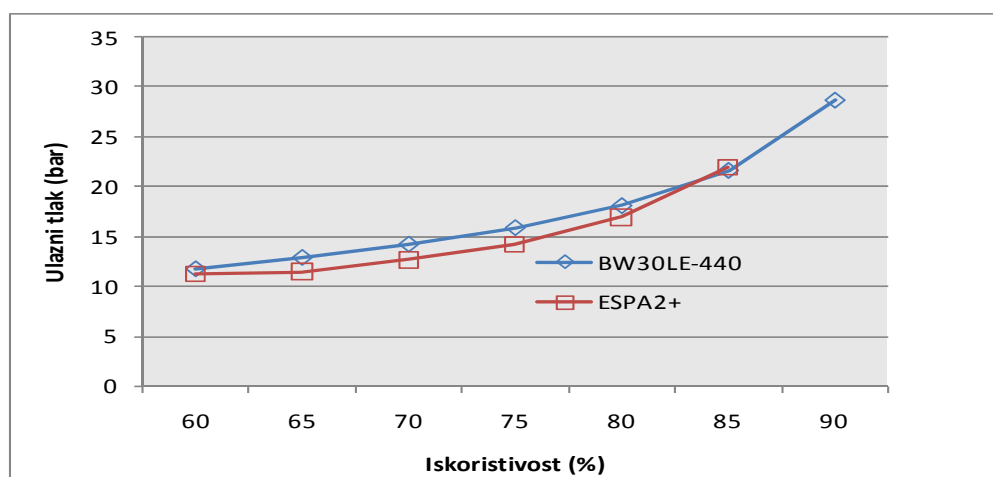
Dijagram 4.1.2b. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



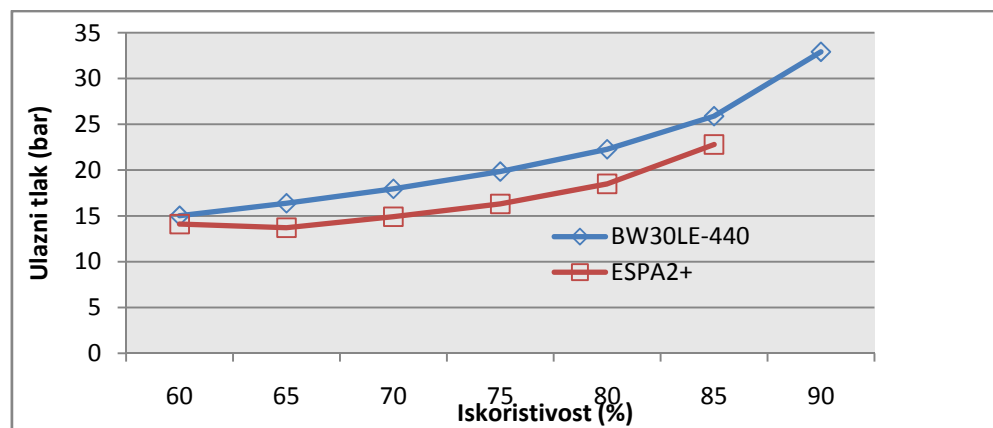
Dijagram 4.1.2c. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



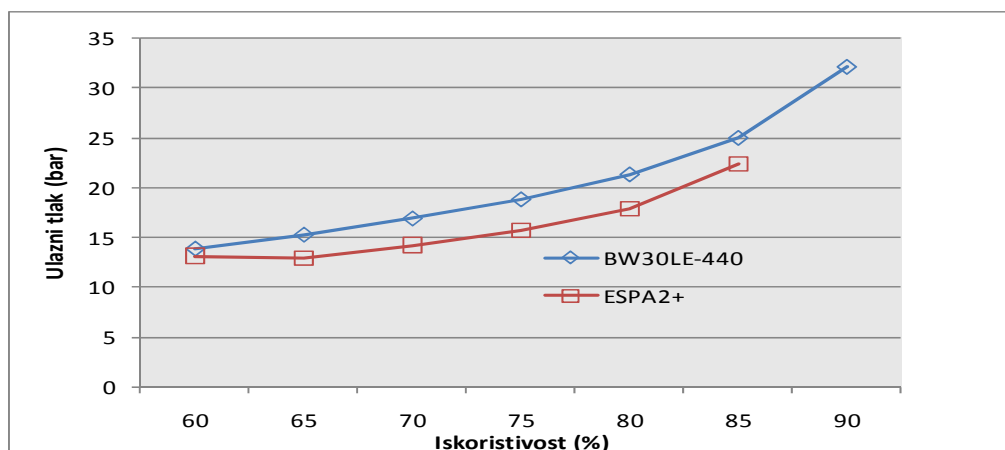
Dijagram 4.1.2d. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



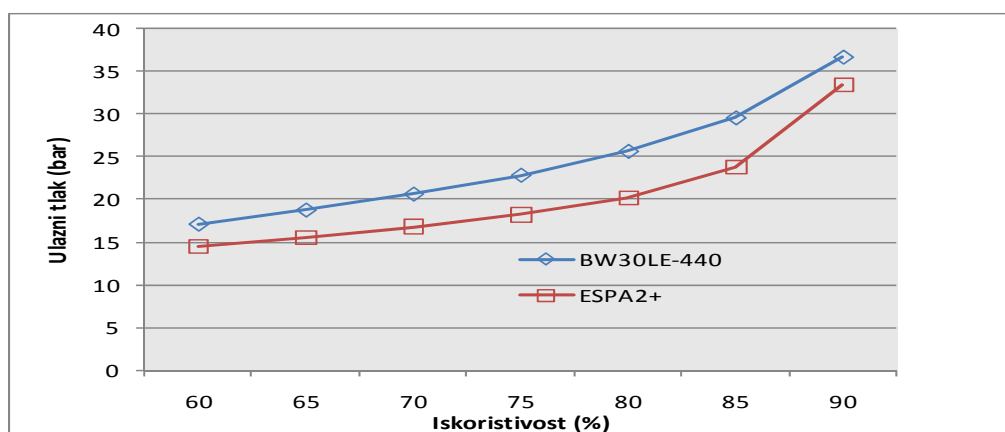
Dijagram 4.1.2e. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



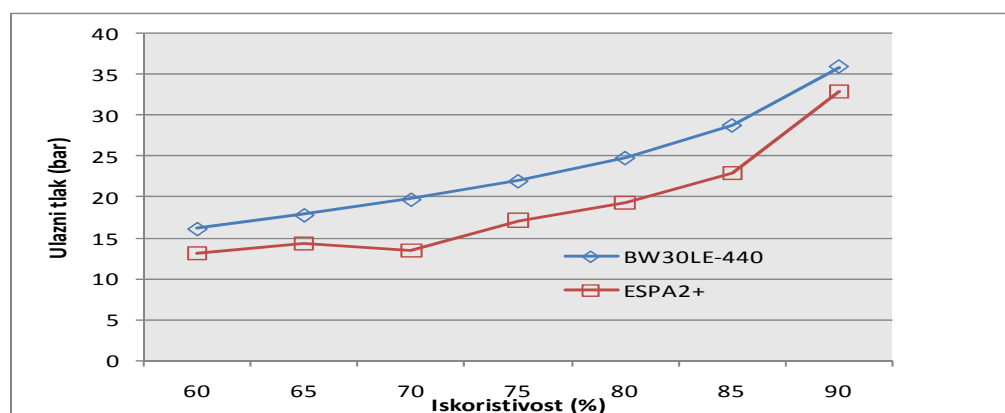
Dijagram 4.1.2f. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.1.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka na prvom stupnju za sustav RX(4,3/3,2).

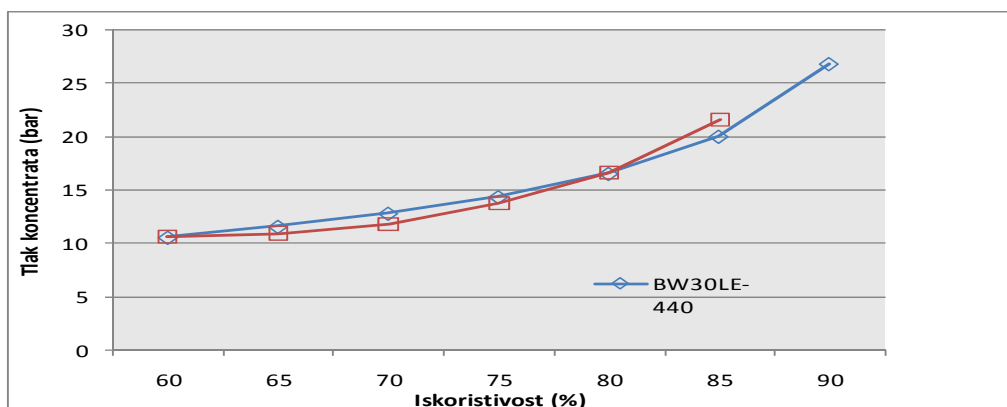
RX(4,3/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.1.2h. Prikaz promjene ulaznog tlaka na drugom stupnju za sustav RX(4,3/3,2).

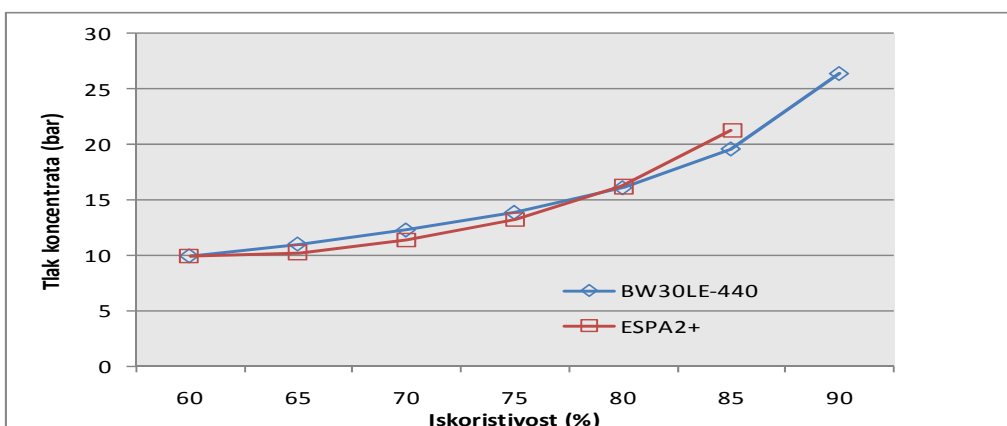
4.1.3. TLAK KONCENTRATA

RX(5,5/4,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



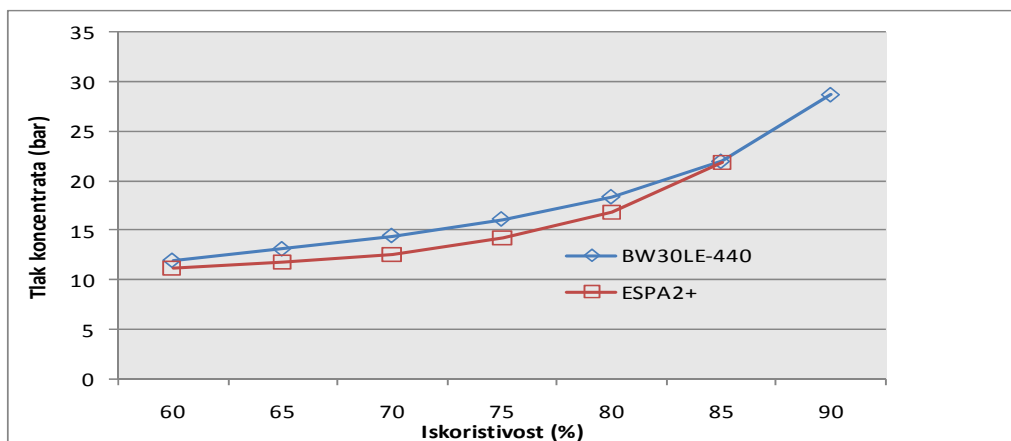
Dijagram 4.1.3a. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



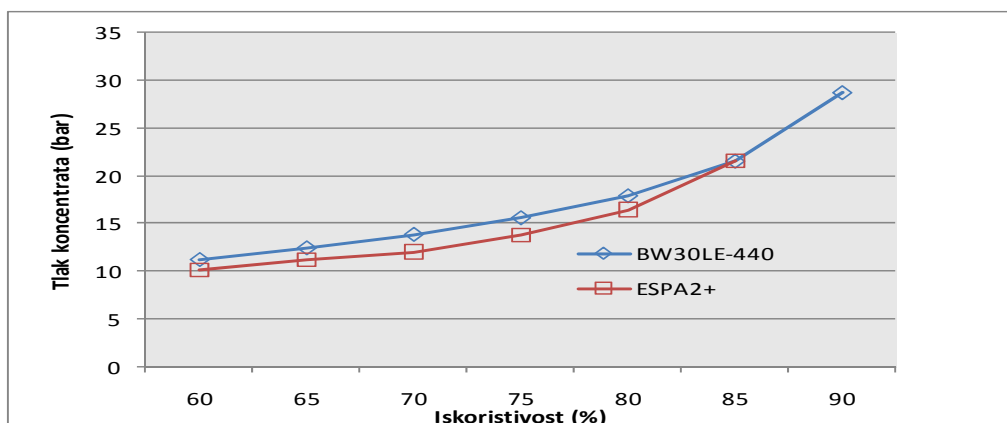
Dijagram 4.1.3b. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



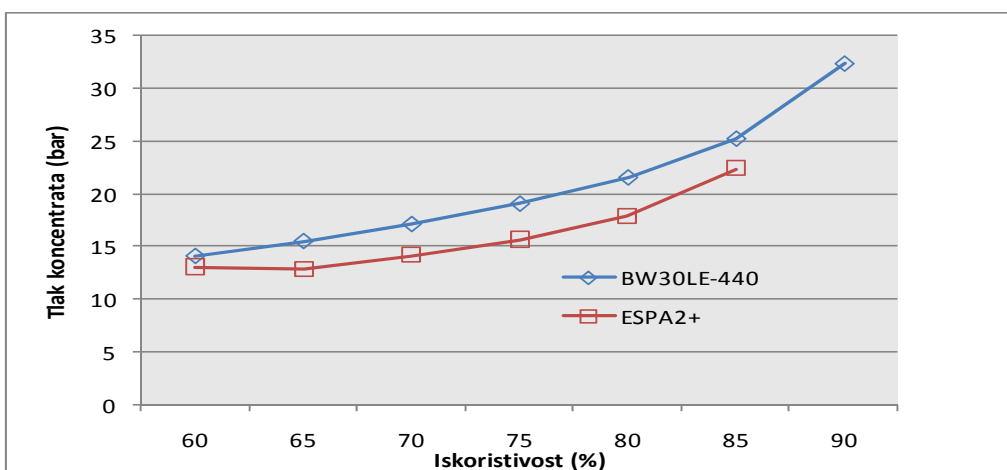
Dijagram 4.1.3c. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



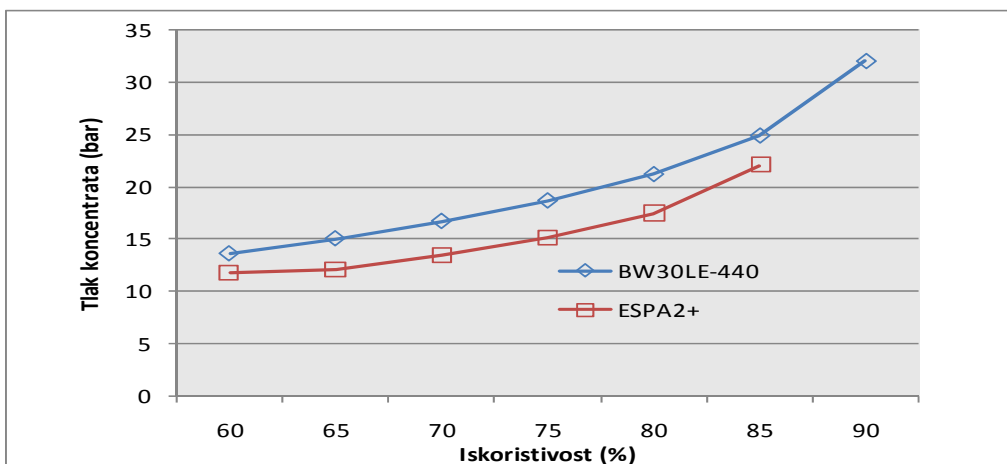
Dijagram 4.1.3d. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



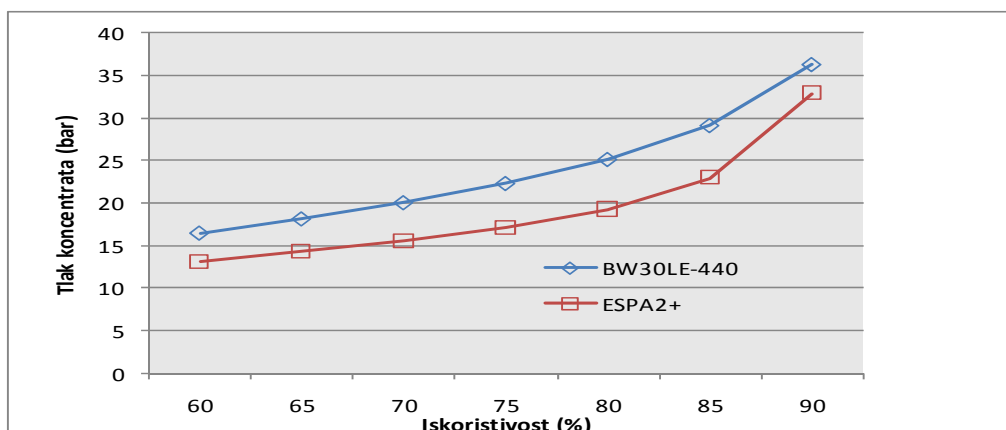
Dijagram 4.1.3e. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



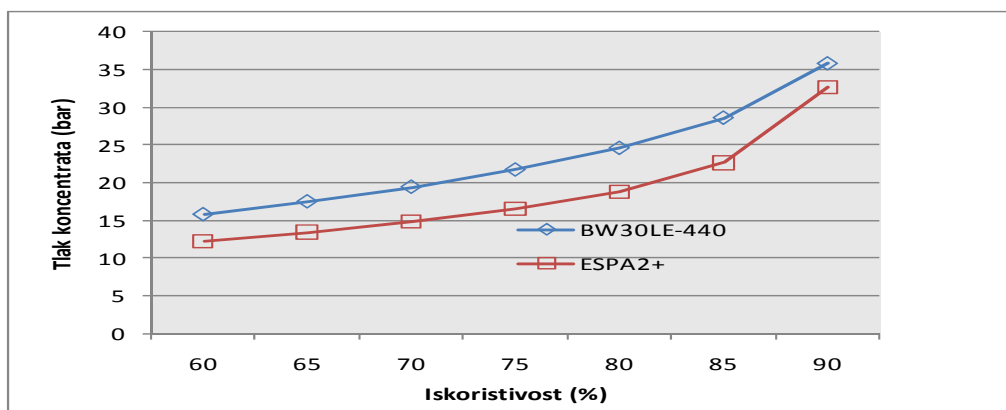
Dijagram 4.1.3f. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.1.3g. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupanju sustava RX(4,3/3,2).

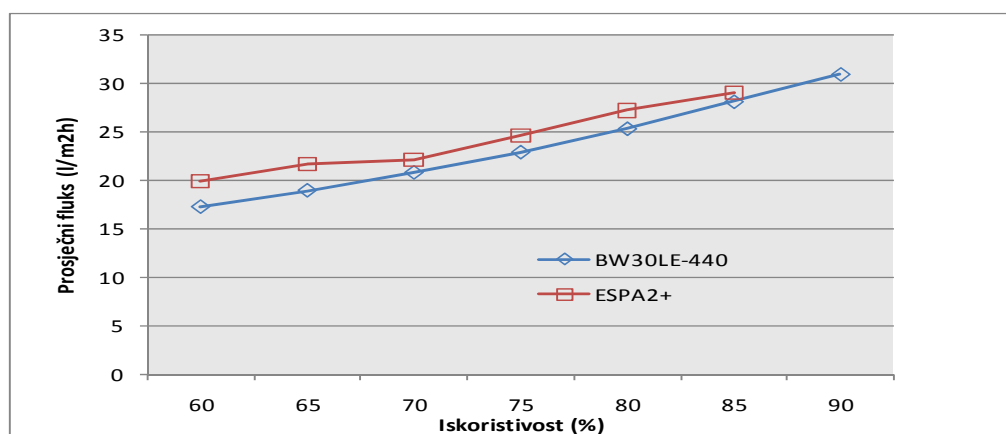
RX(4,3/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.1.3h. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupanju sustava RX(4,3/3,2).

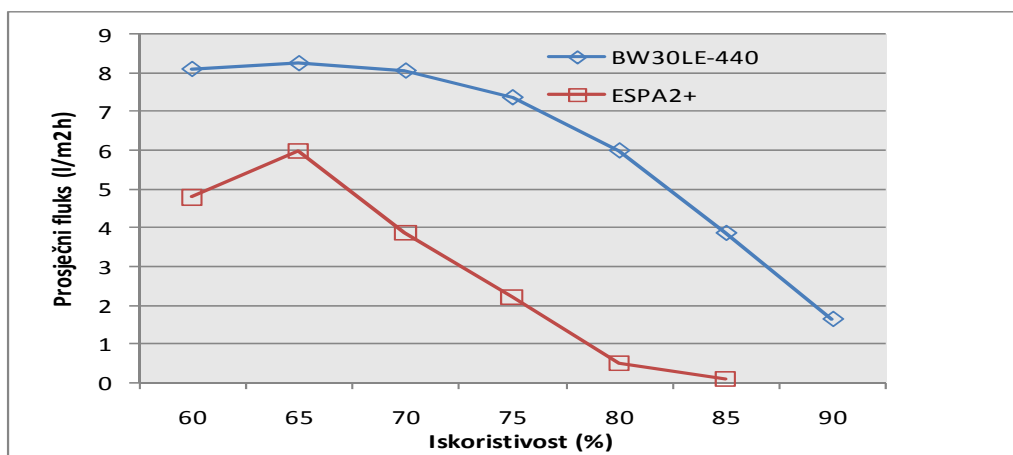
4.1.4. PROSIJEČNI FLUKS

RX(5,5/4,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



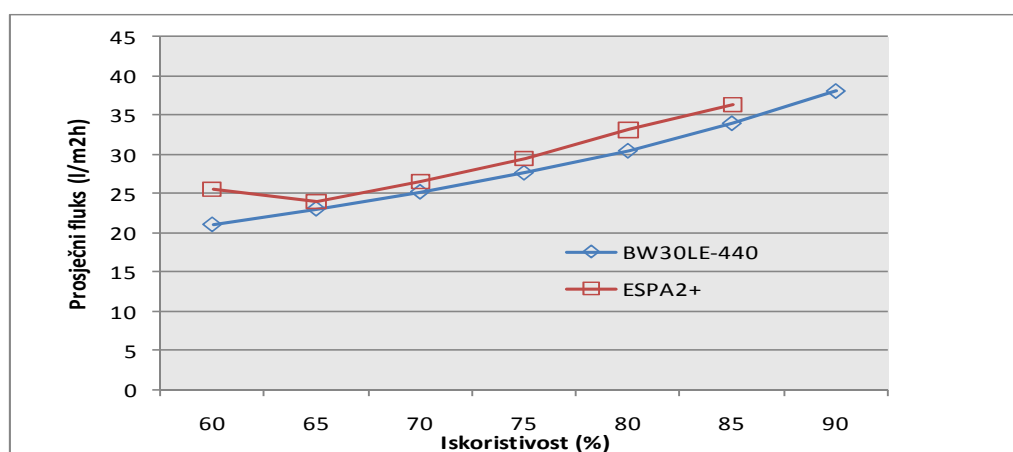
Dijagram 4.1.4a. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



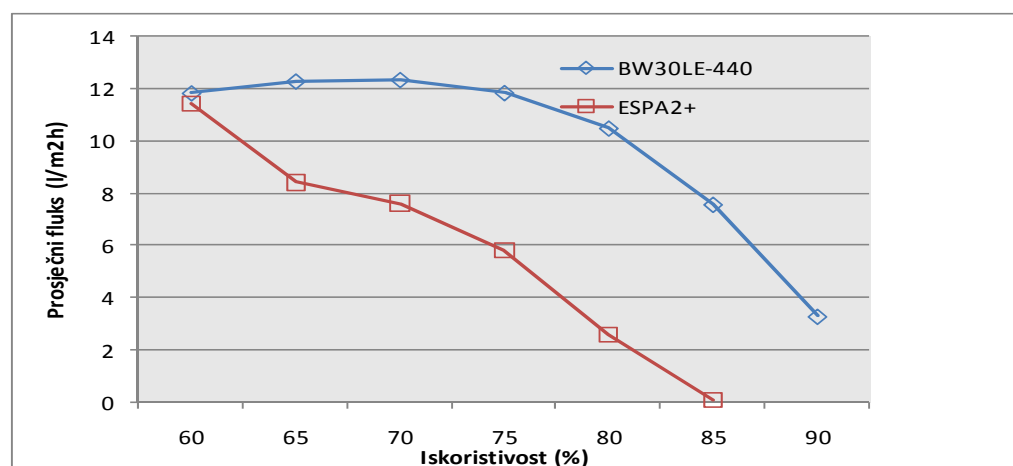
Dijagram 4.1.4b. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



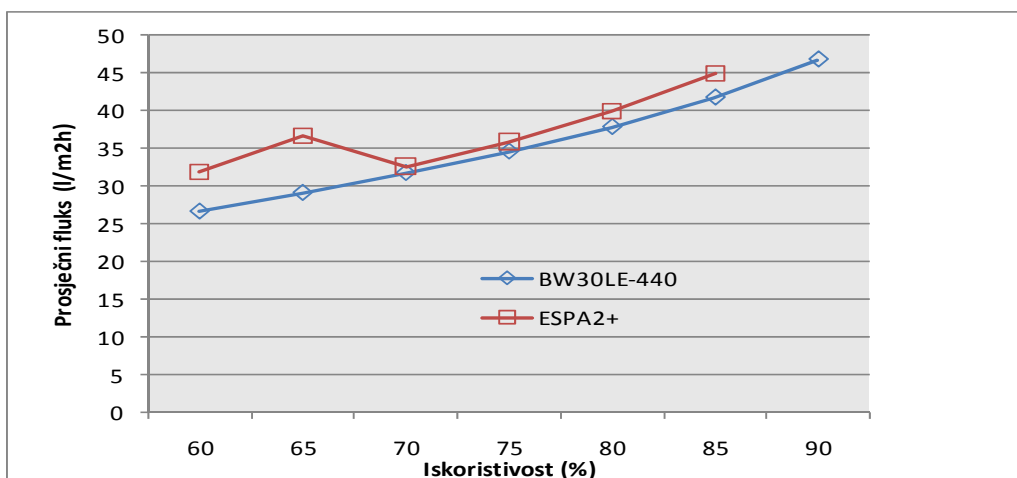
Dijagram 4.1.4c. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



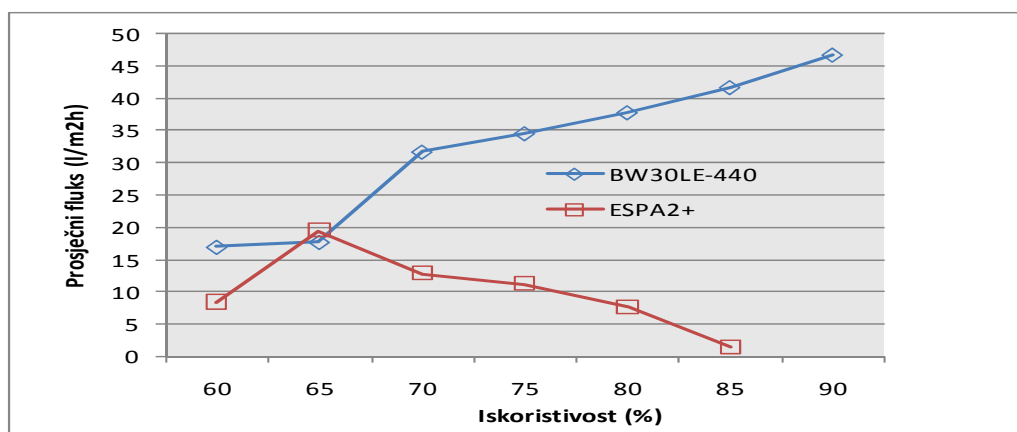
Dijagram 4.1.4d. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



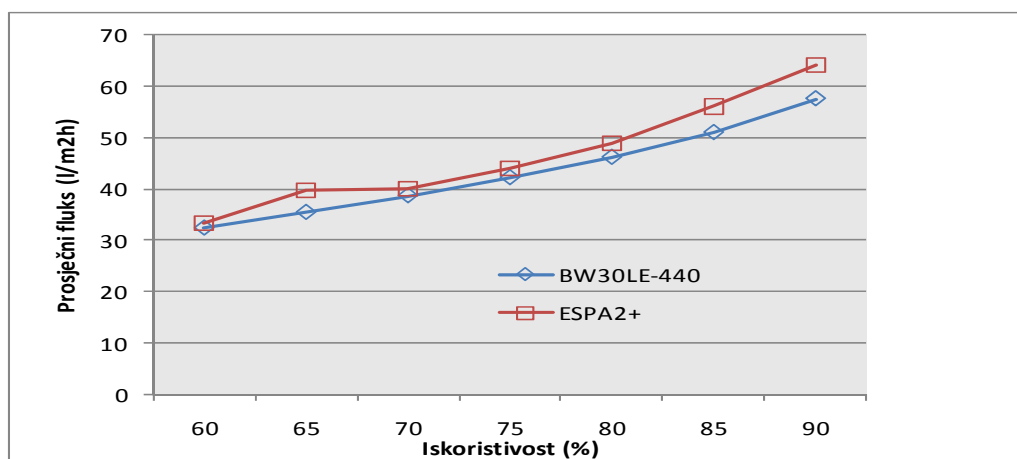
Dijagram 4.1.4e. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



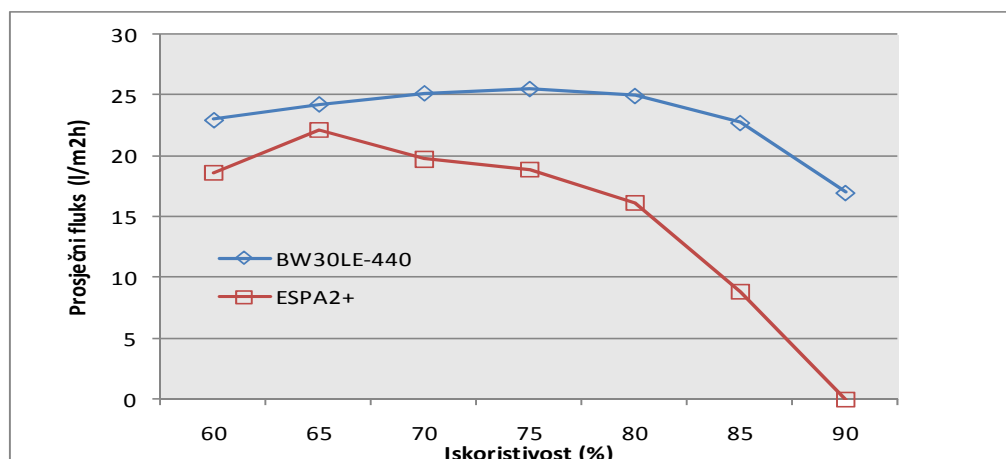
Dijagram 4.1.4f. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2) – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.1.4g. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

RX(4,3/3,2) – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.1.4h. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

4.1.5. USPOREDBA REZULTATA ZA PROTOČNI OTVORENI SUSTAV

RX(5,5/4,3)

Kako je ranije naglašeno, simulacija se vrši istodobno u ROSA-i za membranu BW30LE-440 i u IMSDesign-u za membranu ESPA2+. Rezultati su potom pomoću programa Excell preformirani u garfički prikaz radi lakše obrade dobivenih podataka.

Stupanj iskoristivosti se u ovom slučaju kreće od 60 do 90[%] sa korakom od 5[%]. Važno je napomenuti kako u slučaju IMSDesign-a tj. u slučaju . U ovom slučaju riječ je o dvo-stupanjskom sustavu u kojem imamo, u prvom stupnja 5 tlačnih cijevi i u svakoj cijevi po 5 membrana, a u drugom 4 tlačne cijevi sa po 3 elementa.

Dijagram 4.1.1a. prikazuje promjenu potrebne spec.energije izražene u [kWh/m³] za sustav RX(5,5/4,3), ovisno o promjeni stupnja iskoristivosti. Iz slike se vidi kako je potrebna količina spec.energije i u slučaju BW30LE-440 i u slučaju membrane ESPA2+ za stupanj iskoristivosti 80[%] jednak. Tako ako se za konačno rješenje odabere bilo koja od ovih dviju membrana, dobit će se ista potrošnja energije potrebne za desalinizaciju bočate vode. S tog stajališta gledano, odabirom bilo koje od ove dvije, membrane neće se učiniti greška. Cijelim intervalom od 60 do 80[%] iskoristivosti, količina potrošene spec.energije za membranu BW30LE-440 je nešto veća za razliku od membrane ESPA2+. U točki u kojoj je iskoristivost 80[%], potrošnje spec.energije je jednaka-sličan slučaj kao za stupanj iskoristivosti od 60[%]. Daljnjim povećavanjem stupnja iskoristivosti, može se zamijetiti kako će doći do porasta potrošnje spec.energije za membranu ESPA2+, dok će membrana BW30LE-440 trošiti nešto manje energije.

Dijagrami 4.1.2a. i 4.1.2b. prikazuju promjene ulaznog tlaka, izraženog u bar-ima za sustav RX(5,5/4,3), na ulazu u prvi i drugi stupanj. Funkcija promjene ulaznog tlaka na prvi i drugi stupanj prati oblik funkcije promjene spec.energije. Tako da je ulazni tlak na oba stupnja jednak za sustav sa

stupnjem iskoristivosti od 60[%]. Povećanjem stupnja iskoristivosti do 80[%], može se zamijetiti kako je nešto veći tlak na membrani BW30LE-440 nego na membrani ESPA2+. Za stupanj iskoristivosti od 80[%], tlak na ulazu u prvi stupanj za obe membrane je jednak, a isto tako i tlak na ulazu u drugi stupanj. Daljnjim povećanjem stupnja iskoristivosti, ulazni tlak na prvi i drugi stupanj postaje veći za membranu ESPA2+.

Dijagrami 4.1.3a. i 4.1.3b. prikazuju promjene tlaka koncentrata u bar-ima na oba stupnja za sustav RX(5,5/4,3). Tlak koncentrata prati promijenu ulaznog tlaka. Tako u intervalu od 60 do 80% prednjači membrana BW30LE-440, doka za vrijednosti iznad 80[%] membrana ESPA2+ zahtijeva veće tlakove koncentrata. Granične vrijednosti od 60 i 80[%] daju jednake iznose tlaka koncentrata za obe membrane.

Slike koje prikazuju promjene spec.energije i promjene ulaznih tlakova na prvi i drugi stupanj, su logičan slijed događaja. Ako uzmemo u obzir da je veći tlak potreban da određena membrana postigne isti stupanj iskorištenja kao i prethodna, tada je logično da ista koristi više spec.energije.

Dijagrami 4.1.4a. i 4.1.4b. prikazuju promjenu prosječnog fluksa, izraženog u $[l/m^2h]$ za sustav RX(5,5/4,3), za obe membrane u ovisnosti o stupnju iskorištenja. U ovom slučaju na prvom stupnju imamo slučaj veće vrijednosti prosječnog fluksa na membrani ESPA2+ u intevalu od 60 do 90[%] stupnja iskoristivosti. Za drugi stupanj vidi se da membrana BW30LE-440 ima u oba slučaja bolje rezultate.

RX(5,4/3,3)

Ovaj sustav je načinjen kao i prethodni u obliku dvo-stupanjske RO jedinice, u prvom stupnju nalazi se 5 tlačnih cijevi unutar kojih se nalazi 4 membranska elementa, a u drugom stupnju 3 tlačne cijevi unutar kojih se nalazi 3 membranska elementa. Stupanj iskoristivosti se također kreće između 60 i 90%.

Dijagram 4.1.1b. prikazuje promjenu spec.energije izražene u $[kWh/m^3]$ za sustav RX(5,4/3,3). Iz slike se vidi kao membrana BW30LE-440 u intervalu od 60 do 85[%] troši manju količinu spec.energije, no u graničnim slučajevima, dakle u slučajevima kakda su stupnjevi iskoristivosti 60 i 85[%], potrošnja spec.energije je jednaka. Riješenje za membranu, za sluča jiskoristivosti 90[%], ESPA2+ u IMSDesign-u nije konvergiralo.

Dijagrami 4.1.3c. i 4.1.3d. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(5,4/4,3). Iz slika se može vidjeti kako su vrijednosti tog tlaka u intervalu od 60 do 85[%] veće od onog za membranu ESPA2+. Dok za vrijednost stupnja iskoristivosti od 85[%] ti tlakovi postaju isti. Riješenje za membranu ESPA2+ u IMSDesign-u nije konvergiralo.

Dijagrami 4.1.2c. i 4.1.2d. prikazuju promjenu ulaznog tlak na prvom i drugom stupnju izraženih u bar-ima sustava RX(5,4/3,3). U obadava slučaja ulazni tlak za membranu BW30LE-440 je nešto veći unutar intevala od 60 do 85[%]. Dok u ta dva granična slučaja je jednak. Riješenje za membranu ESPA2+ u IMSDesign-u nije konvergiralo.

Dijagrami 4.1.4c. i 4.1.4d. prikazuju promjenu vrijednosti prosječnog fluksa izraženog u $[l/m^2h]$ na prvom i drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3). Za prvi stupanj može se vidjeti kako membrana ESPA2+ postiže veće vrijednosti prosječnog fluksa. Jedini izuzetak je u slučaju stupnja iskoristivosti 65[%], gdje su aproksimativno jednake. U drugom stupnju bolje karakteristike posjeduje membrana BW30LE-440 nad cjelokupnim intervalom stupnja iskoristivosti.

RX(4,4/3,2)

Ovaj sustav je načinjen kao dvo-stupanjski sustav, u prvom stupnju nalaze se 4 tlačne cijevi sa po 4 membranska elementa, dok drugi stupanj sadrži 3 tlačne cijevi sa po 2 membranska elementa. Stupanj iskoristivosti se također kreće između 60 i 90[%].

Dijagram 4.1.1c. prikazuje promjenu spec.energije izraženu u $[kWh/m^2]$ za sustav RX(4,4/3,2). Iz slike se vidi kako je veća potrošnja od strane membranskog elementa Dow Chemical-a BW30LE-440 za cijeli interval stupnja iskoristivosti od 60 do 85[%]. S tim da rješenje ESPA2+ u IMSDesign-u nije konvergiralo.

Dijagrami 4.1.2e. i 5.1.2f. prikazuju promjenu ulaznog tlaka na prvom i drugom stupnju izraženog u bar-ima za sustav RX(4,4/3,2). Dijagrami promjene ulaznih tlakova u oba slučaja prate stanje dijagrama prikazanog slikom 4.1.1c. Prema tome, membrana BW30LE-440, zahtijeva veće tlakove kao bi osigurala isti stupanj iskoristivosti sirove vode u cijelom intervalu od 60 do 85[%]. Rješenje u IMSDesign-u za slučaj stupnja iskoristivosti od 90[%] nije konvergiralo.

Dijagrami 5.1.3e. i 5.1.3f. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženu u bar-ima na oba stupnja sustava RX(4,4/3,2). Iz dijagrama se vidi da membrana BW30LE-440 unutar cijeloga intervala stupnja iskoristivosti, od 60 do 90[%], zahtijeva veće vrijednosti tlaka koncentrata nego ESPA2+.

Dijagrami 5.1.4e. i 5.1.4f. prikazuju promjenu prosječnog fluksa izraženog u $[l/m^2h]$ na oba stupnja sustava RX(4,4/3,2). Prvi stupanj po običaju pripada membrani ESPA2+, što i nije neko iznenađenje. S tim da se može reći kako obe membrane postižu aproksimativno jednaka rješenja za stupanj iskoristivosti od 65[%]. Drugi stupanj obilježen je većim vrijednostima prosječnog fluksa nad cijelim intervalom izuzev stupnja iskoristivosti od 65[%] u kojem više vrijednosti postiže membrana BW30LE-440. Ovakvo netipično ponašanje krivulje drugog stupnja, nastaje kao posljedica prosječnog fluksa na prvi stupanj.

RX(4,3/3,2)

Ovaj sustav je načinjen kao i prethodni u obliku dvo-stupanjske RO jedinice, u prvom stupnju nalazi se 5 tlačnih cijevi unutar kojih se nalazi 4 membranska elementa, a u drugom stupnju 3 tlačne cijevi unutar kojih se nalazi 2 membranska elementa. Stupanj iskoristivosti se također kreće između 60 i 90[%].

Dijagram 4.1.1d. prikazuje promjenu spec.energije izražene u $[\text{kWh}/\text{m}^3]$ za sustav RX(4,3/3,2). Na cijelokupnom intervalu vrijednost potrošene spec.energije sustava sa membranskim elementima BW30LE-440 nadmašuje vrijednosti potrošene spec.energije od strane membrane ESPA2+.

Dijagrami 4.1.2g. i 4.1.2h. prikazuju promijenu ulaznog tlaka izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(4,3/3,2). Iz prethodnog dijagrama za potrošenu spec.energiju može se pretpostaviti, a simulacijom i dokazati, da je ulazni tlak na oba stupnja sustava za membranu BW30LE-440 nešto veći od onog za membranu ESPA2+.

Dijagrami 4.1.3g. i 4.1.3h. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(4,3/3,2). Tlak koncentrata prati promijenu ulaznog tlaka, pa prema tome je vrijedost ovog tlaka za membranu BW30LE-440 ipak nešto veća nad cijelokupnim intervalom.

Dijagrami 4.1.4e. i 4.1.4f. prikazuje promjenu prosječnog fluksa izraženog u $[\text{l}/\text{m}^2\text{h}]$ za oba stupnja sustava RX(4,3/3,2). Prvi stupanj posjeduje nešto veće vrijednosti na membrani ESPA2+. Dok na drugom stupnju bolje vrijednosti postiže membrana BW30LE-440 nad cijelokupnim intervalom.

4.2. PROTOČNI 2-STUPANJSKI SUSTAV SA POVRATOM KONCENTRATA

Analiza protočnog dvostupanjskog sustava sa povratom koncentrata provedena je u ROSA-i i u IMSDesignu. Rezultati simulacije uspoređivani su na način da je pojedina fizikalna veličina, čija je vrijednost dobivena iz ova dva programa, uspoređivana na istom dijagramu za slučajeve dviju sličnih membrana. Podaci su dobiveni mijenjajući vrijednost na apscisi tj. mijenjajući iskoristivost(eng.recovery) unutar granica od 60 do 90[%]. Iskoristivost predstavlja omjer količine vode koja se crpi iz izvora i maksimalne raspoložive količine izvora.

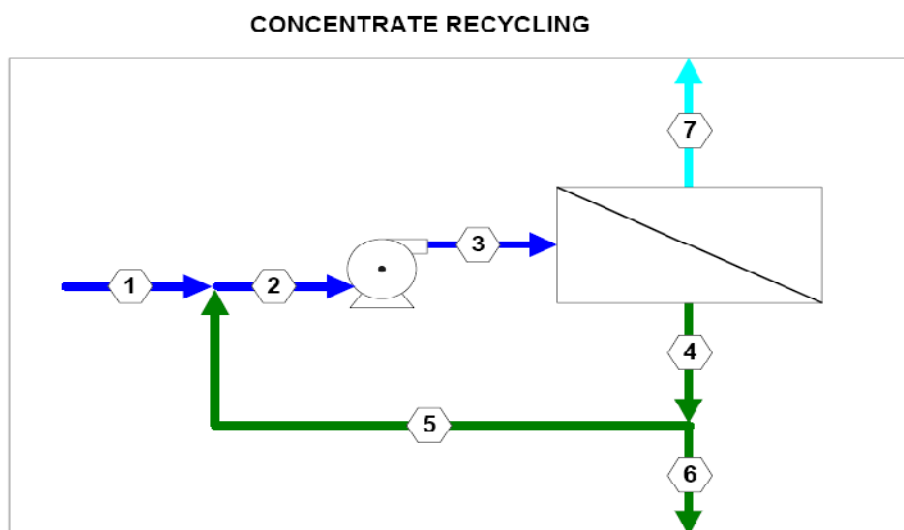
I u ovom slučaju postoje dva stupnja unutar kojih se mijenjao broj tlačnih cijevi i pojedinih membrana unutar tih cijevi. Za usporedbu uzete su dvije, po tehničkoj specifikaciji, slične membrane. Riječ je o membrani ESPA2+ čiji je proizvođač Hydranautics i o membrani BW30LE-440 čiji je proizvođač Dow Chemical.

U prethodnom slučaju postojao je otvoreni sustav bez povrata kondenzata, tako da je ona voda koja nije bila pročišćena, odbacivana u obliku otpadne tehničke vode. Razlika između prethodnog slučaja je u tome, što se sada koncentrat recirkulira (vraća) ispred visoko-tlačne pumpe jedinice za reverznu osmozu-volumni protok recirkulirajućeg koncentrata je $1,5 \text{ [m}^3/\text{s]}$. Tako da se na taj način manja količina vode baca i postiže se bolja iskoristivost cijelokupnog sustava.

Provedenom simulacijom uspoređivane su sljedeće veličine:

- a.) specifična energija na prvom i drugom stupnju [kWh/m^3].
- b.) ulazni tlak na prvom i drugom stupanj [bar];
- c.) specifična energija na prvom i drugom stupnju [kWh/m^3].

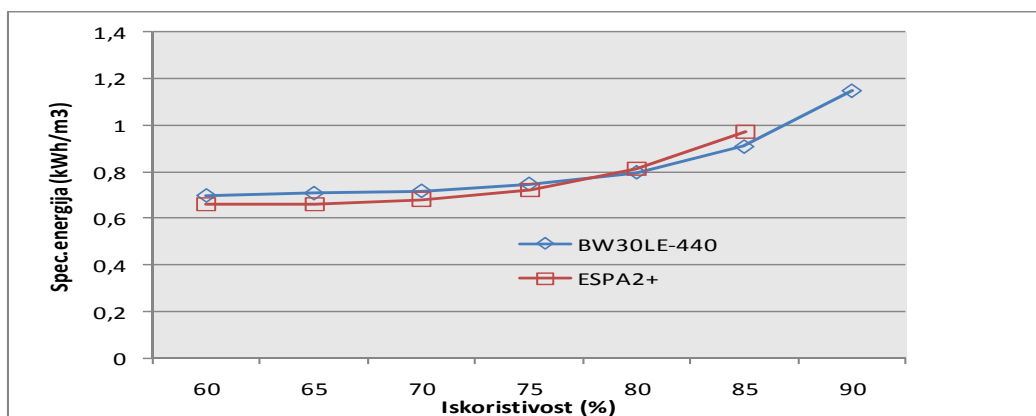
Na slici ispod prikazan je protočni 2-stupanjski sustav sa povratom koncentrata u IMSDesignu:



Slika 4.2. IMSDesign programsko sučelje.

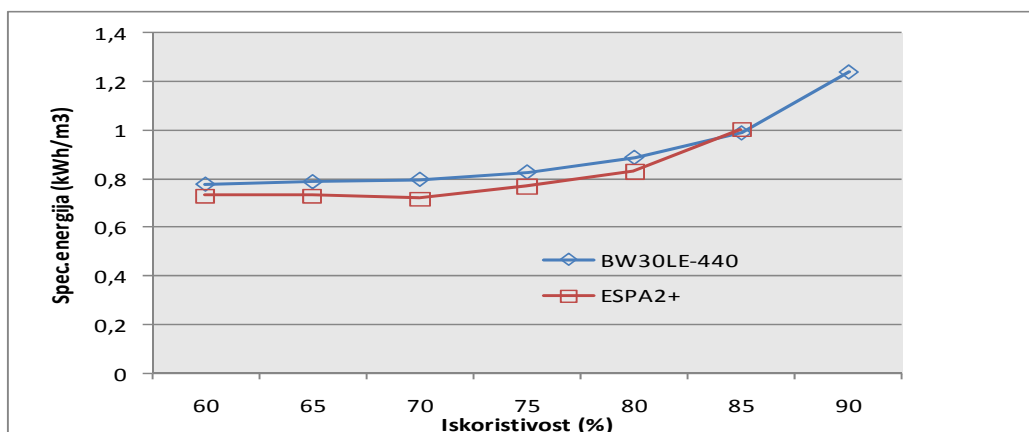
4.2.1. SPECIFIČNA ENERGIJA

RX(5,5/4,3)-RC



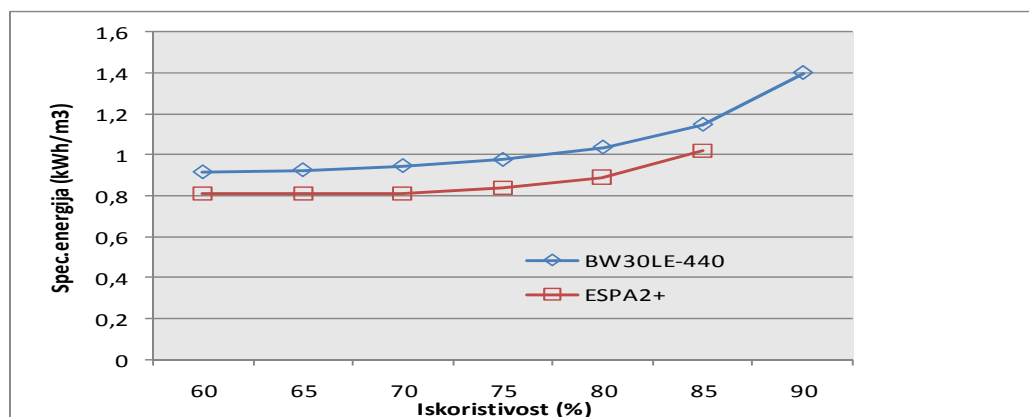
Dijagram 4.2.1a. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3)-RC



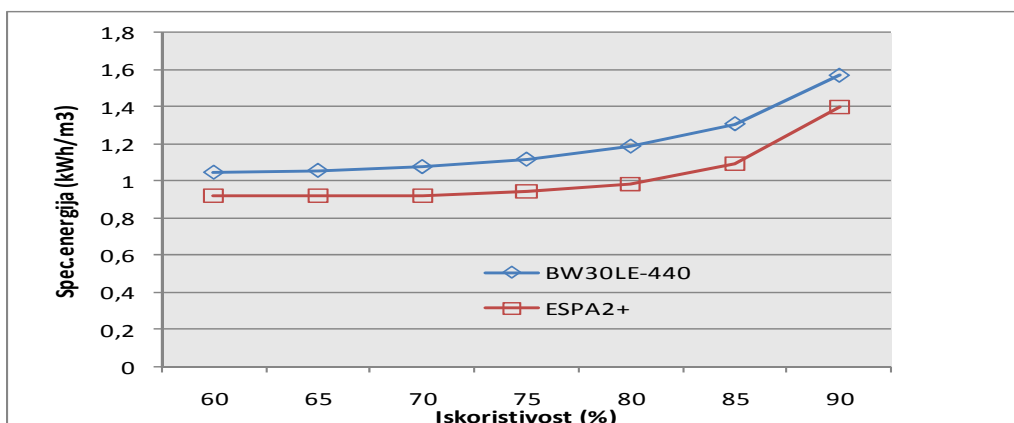
Dijagram 4.2.1b. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2)-RC



Dijagram 4.2.1c. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(4,4/3,2).

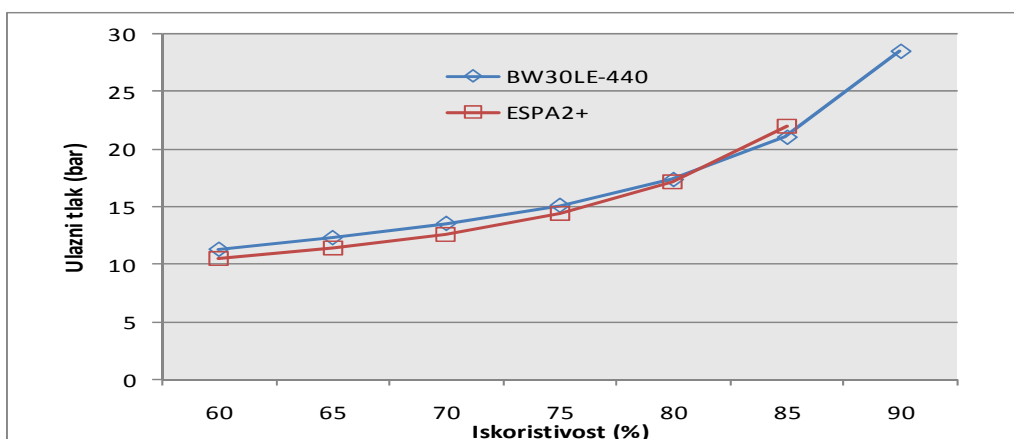
RX(4,3/3,2)-RC



Dijagram 4.2.1d. Prikaz promjene spec.energije sustava RX(4,3/3,2).

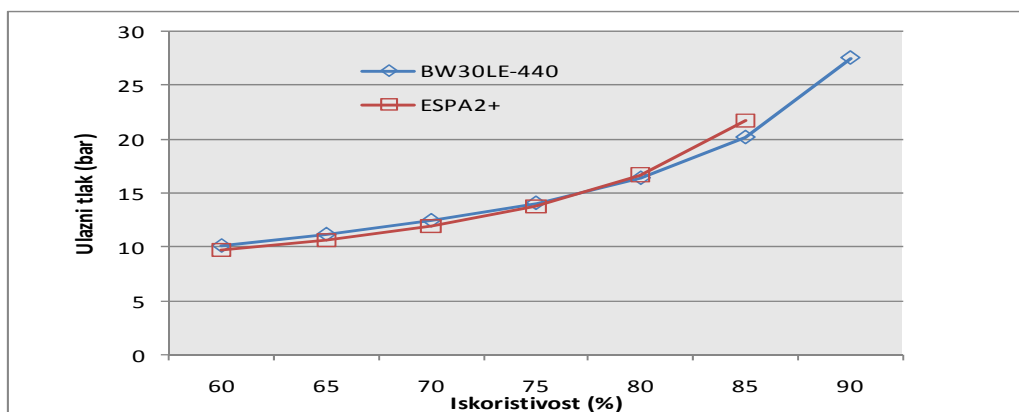
4.2.2. ULAZNI TLAK

RX(5,5/4,3)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



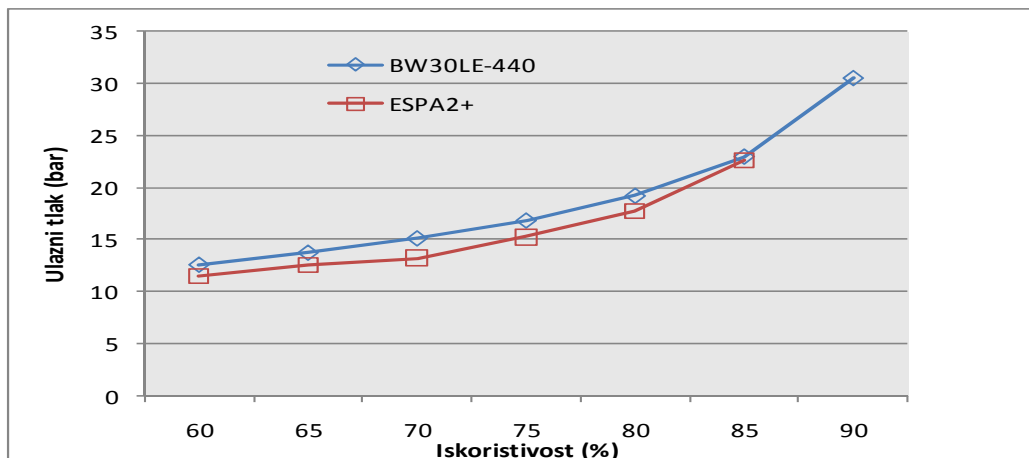
Dijagram 4.2.2a. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



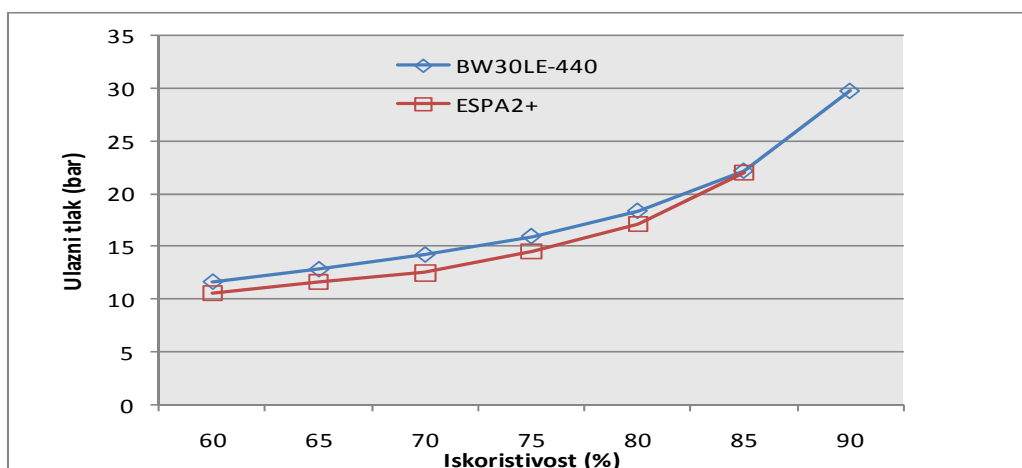
Dijagram 4.2.2b. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



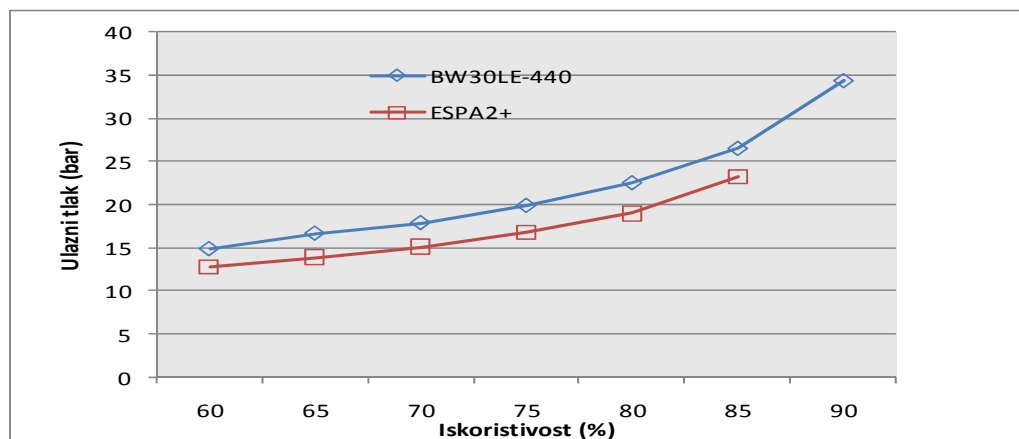
Dijagram 4.2.2c. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



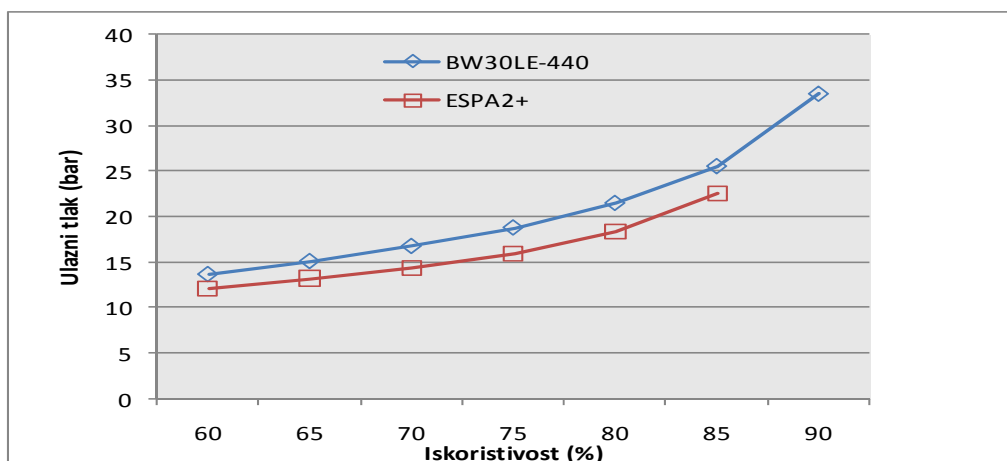
Dijagram 4.2.2d. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



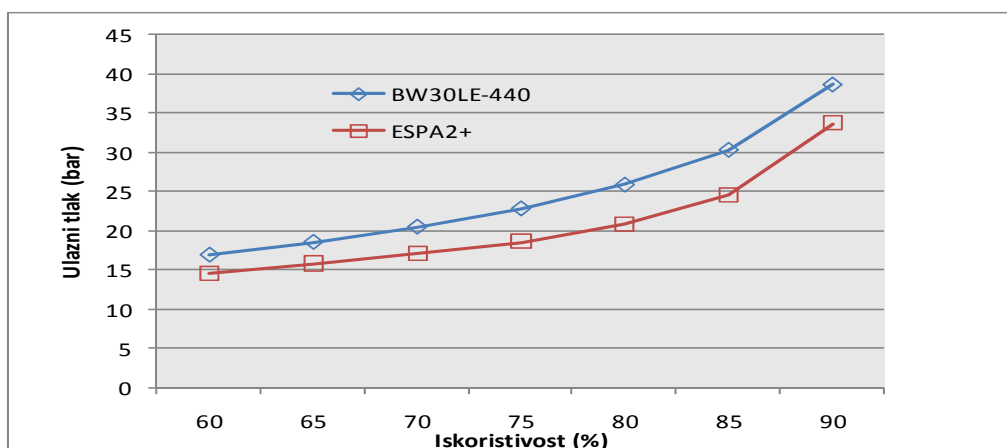
Dijagram 4.2.2e. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



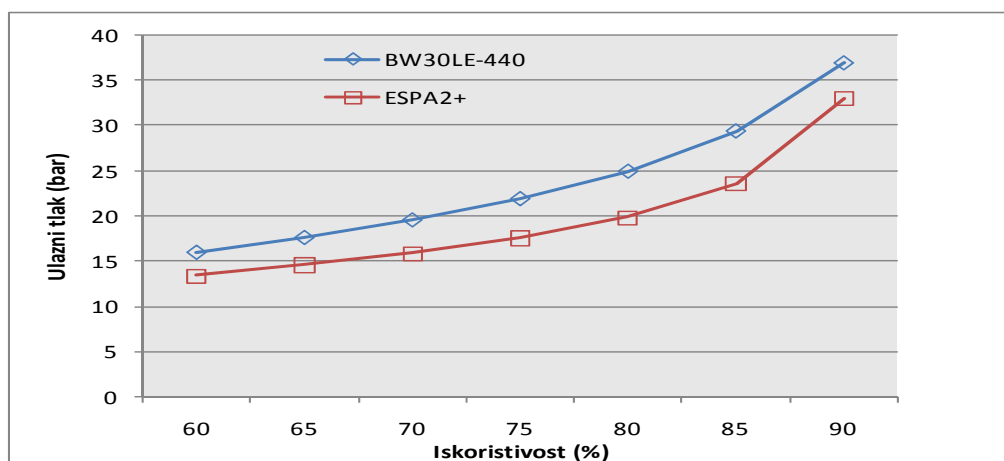
Dijagram 4.2.2f. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.2.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka prvog stupnja sustava RX(4,3/3,2).

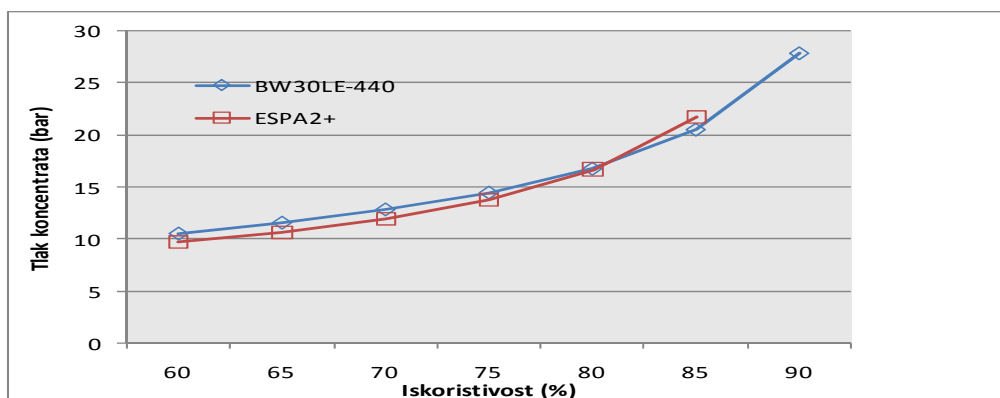
RX(4,3/3,2) -RC– DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.2.2g. Prikaz promjene ulaznog tlaka drugog stupnja sustava RX(4,3/3,2).

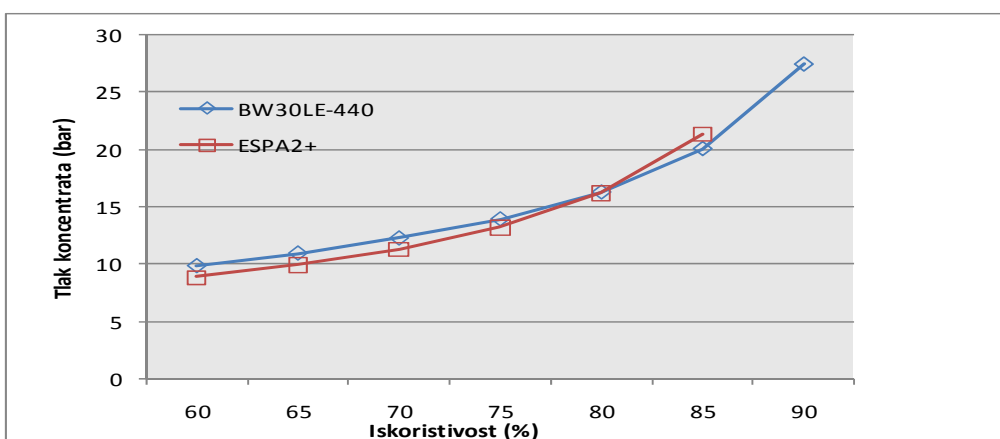
4.2.3. TLAK KONCENTRATA

RX(5,5/4,3) -RC– PRVI STUPANJ (STAGE 1)



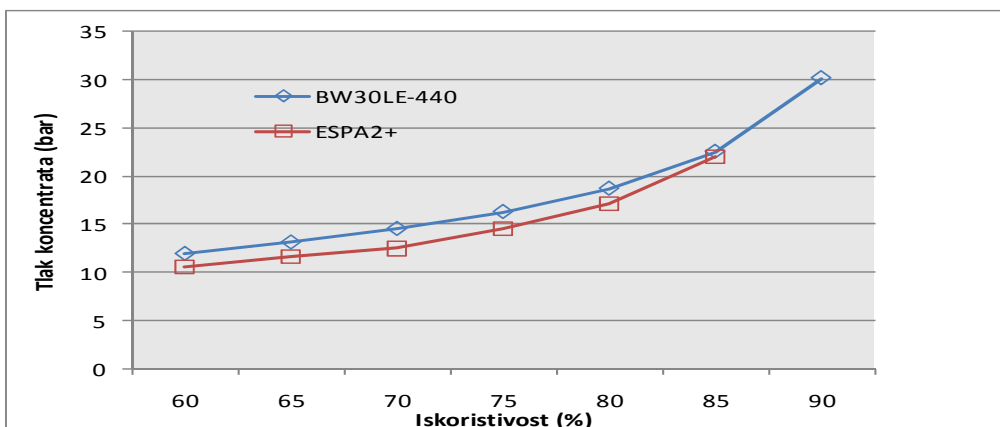
Dijagram 4.2.3a. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



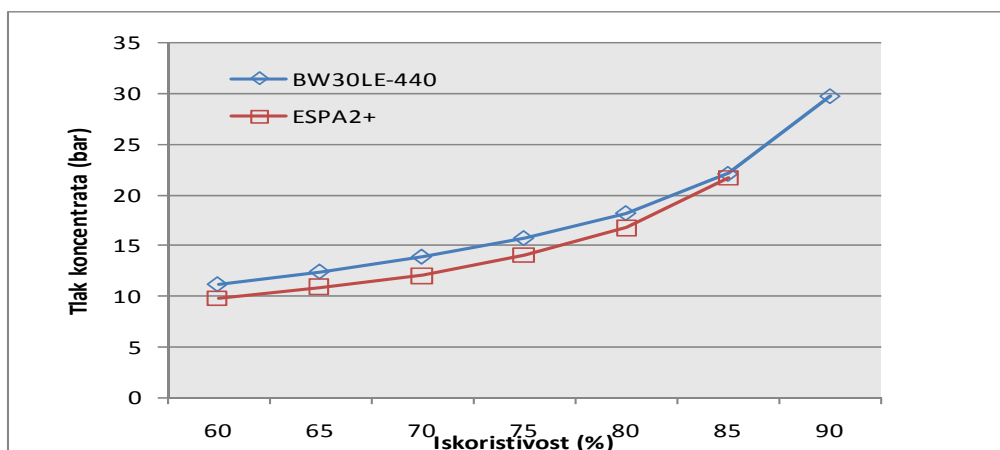
Dijagram 4.2.3b. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



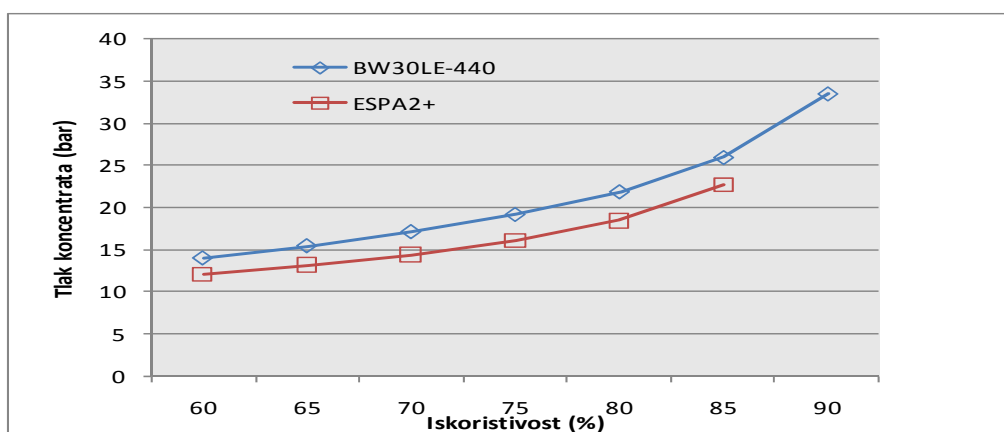
Dijagram 4.2.3c. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



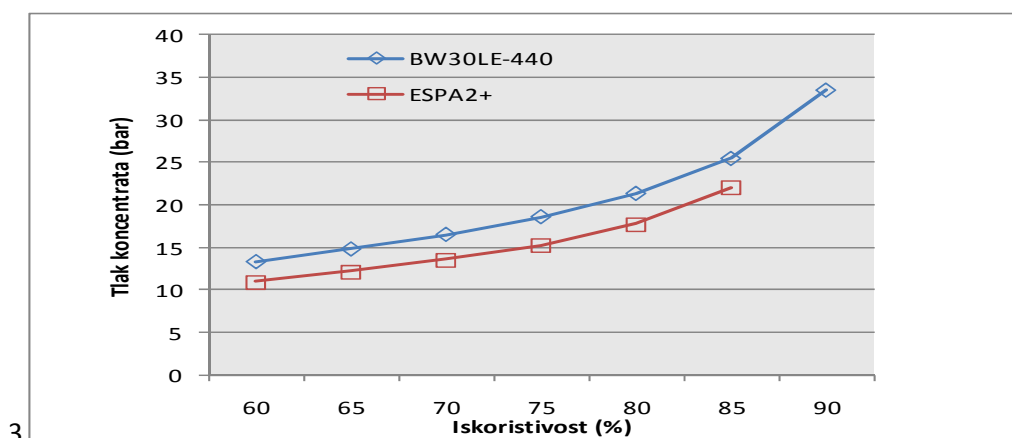
Dijagram 4.2.3d. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



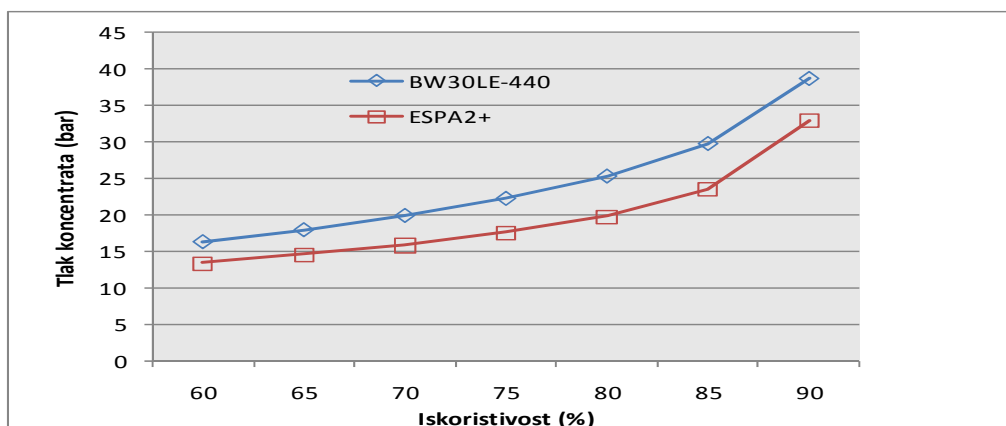
Dijagram 4.2.3e. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



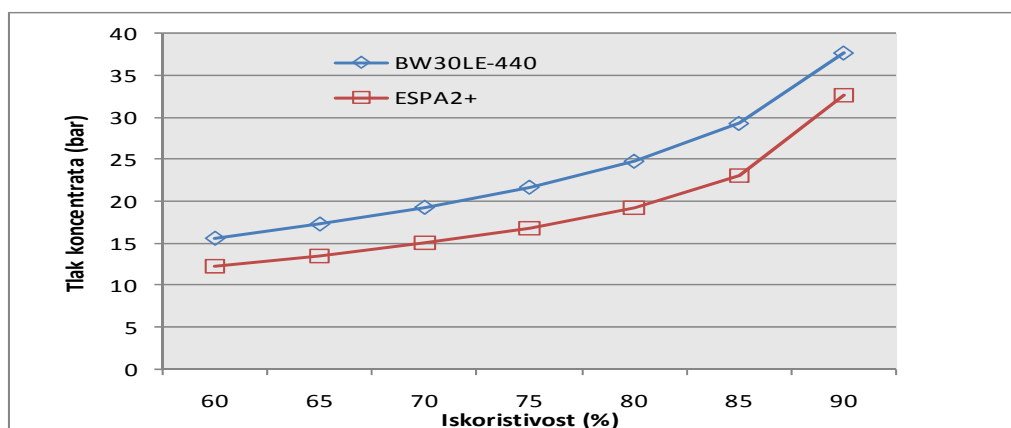
Dijagram 4.2.3f. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.2.3g. Prikaz promjene tlaka koncentrata na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

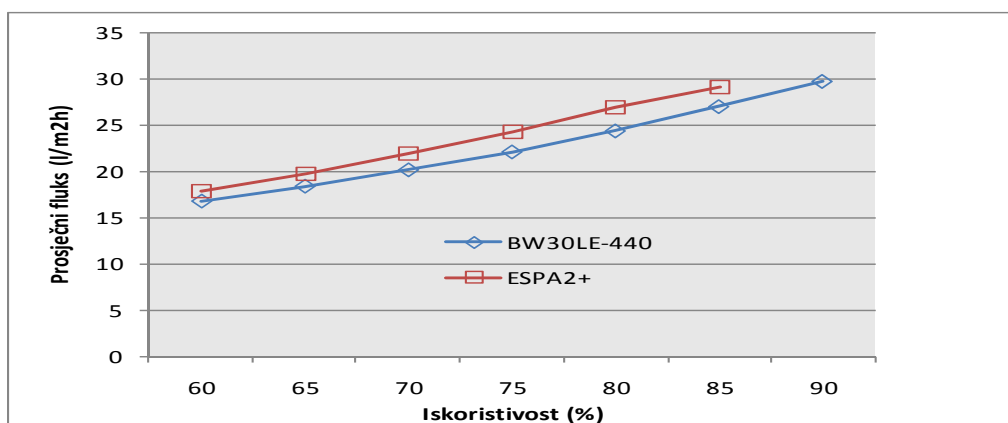
RX(4,3/3,2)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.2.3h. Prikaz promjene tlaka koncentrata na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

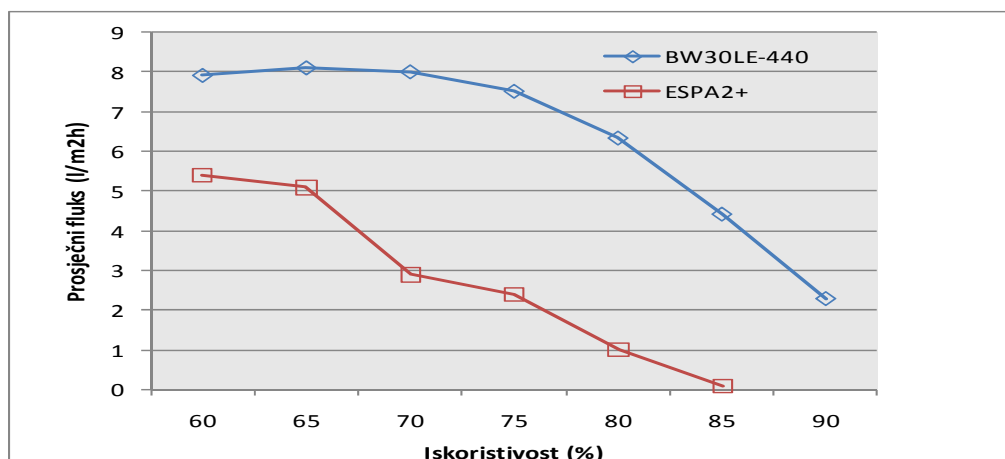
4.2.4. PROSJEČNI FLUKS

RX(5,5/4,3)-RC – PRVI STUPANJ (STAGE 1)



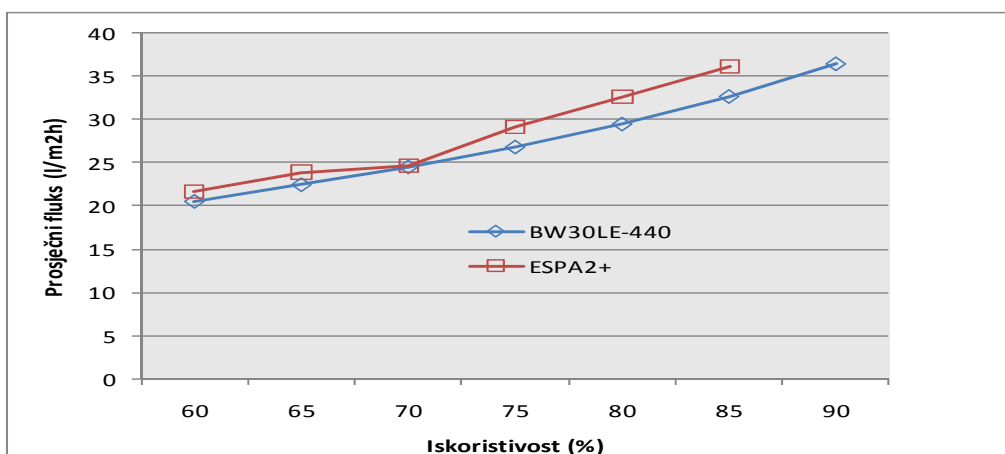
Dijagram 4.2.4a. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,5/4,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



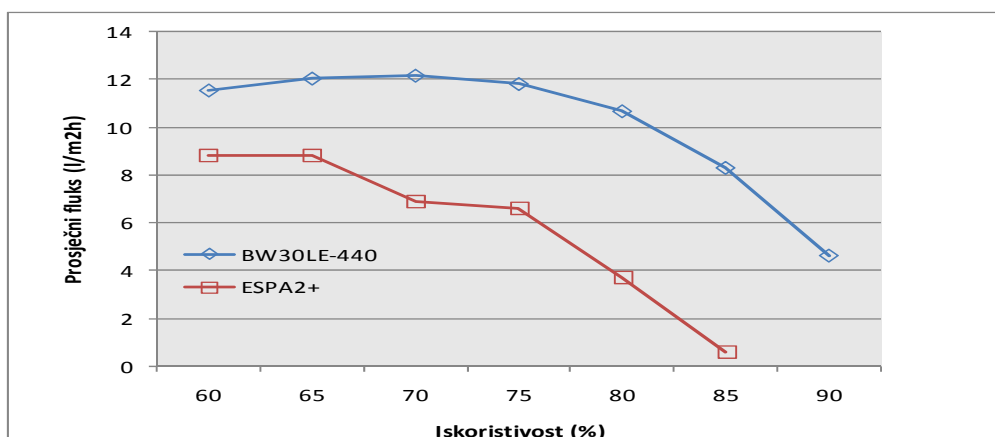
Dijagram 4.2.4b. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,5/4,3).

RX(5,4/3,3) -RC– PRVI STUPANJ (STAGE 1)



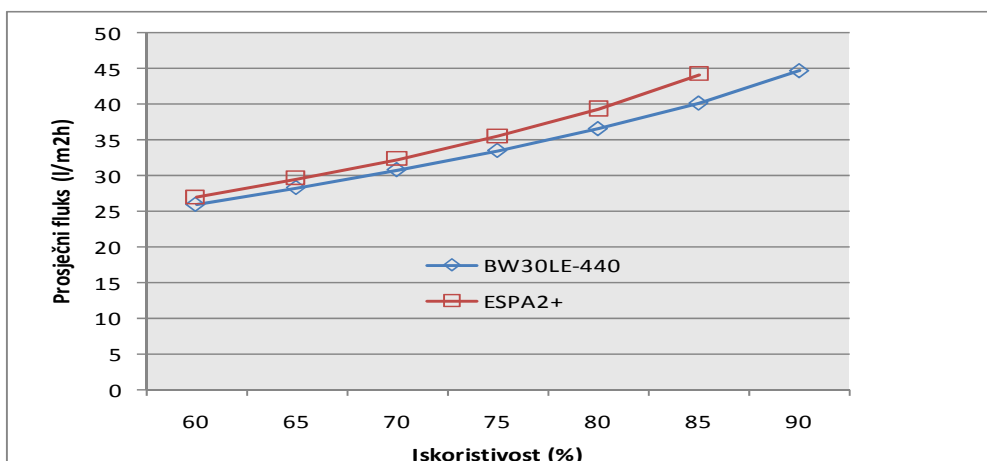
Dijagram 4.2.4c. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(5,4/3,3)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



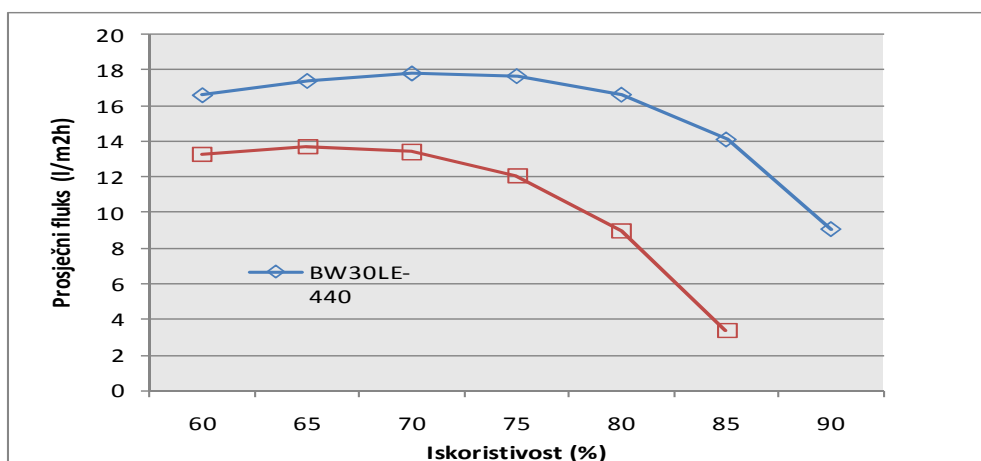
Dijagram 4.2.4d. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(5,4/3,3).

RX(4,4/3,2) -RC– PRVI STUPANJ (STAGE 1)



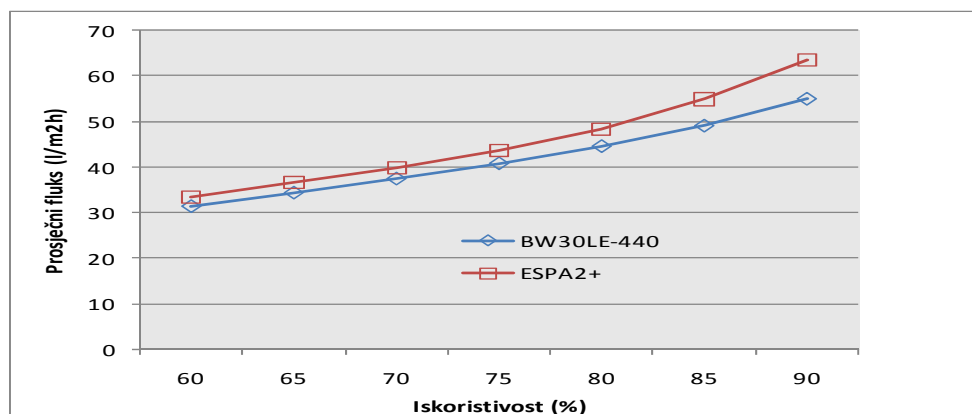
Dijagram 4.2.4e. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,4/3,2) -RC– DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



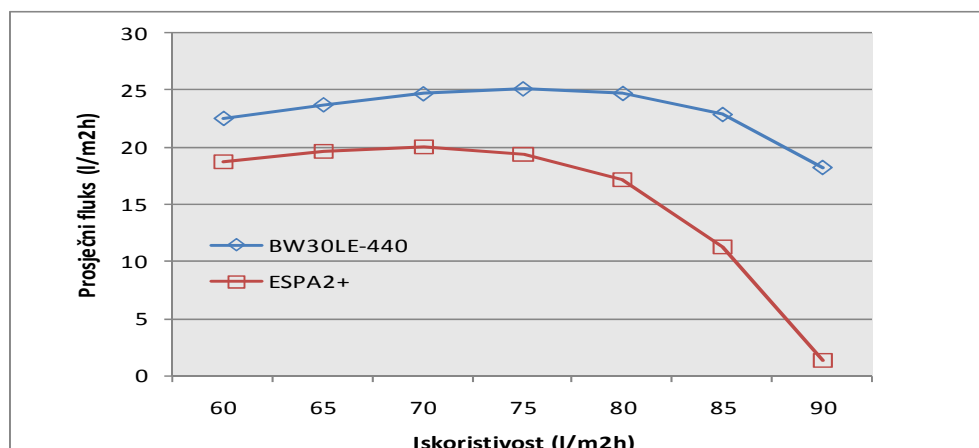
Dijagram 4.2.4f. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,4/3,2).

RX(4,3/3,2) -RC– PRVI STUPANJ (STAGE 1)



Dijagram 4.2.4g. Prikaz promjene prosječnog fluksa na prvom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

RX(4,3/3,2)-RC – DRUGI STUPANJ (STAGE 2)



Dijagram 4.2.4h. Prikaz promjene prosječnog fluksa na drugom stupnju sustava RX(4,3/3,2).

4.2.5. USPOREDBA REZULTATA ZA PROTOČNI OTVORENI SUSTAV SA POVRATOM KONCENTRATA

RX(5,5/4,3)-RC

Ovaj sustav je napravljen kao nadogradnja na sustav iz prethodnog poglavlja, dakle riječ je o otvorenom dvo-stupanjskom protočnom sustavu sa povratom koncentrata sa drugog stupnja ispred visoko-tlačne pumpe. Prvi stupanj se sastoji od 5 tlačnih cijevi sa po 5 membranskih elemenata, a drugi stupanj se sastoji od 4 tlačne cijevi sa po 3 membranska elementa.

Dijagram 4.2.1a. prikazuje promijenu spec.energije izraženu u [kWh/m³] za sustav RX(5,5/4,3)-RC. Nad cjelokupnim intervalom promijene stupnja iskoristivosti od 60 do 80[%], može se reći kako postoji nešto veća potrošnja spec.energije za membranu BW30LE-440 u odnosu na membranu ESPA2+. Istu vrijednost spec.energije postiže se sa stupnjem iskoristivosti od 80[%], a dalje veću potrošnju ima membrana BW30LE-440. Za vrijednost stupnja iskoristivosti od 90[%] u IMSDesign-u rješenje nije konvergiralo.

Dijagrami 4.2.2a. i 4.2.2b. prikazuju promijenu ulaznog tlaka izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(5,5/4,3)-RC. Kao logična posljedica prethodnog dijagrama, iz ovog dijagrama vidi se kako je ulazni tlak na oba stupnja nešto veći kod membrane BW30LE-440, osim za vrijednost stupnja iskoristivosti od 80[%]-gdje su jednake. Samim tim i potrošnja energije mora biti nešto veća. Jedno je slučaj stupnja iskoristivosti 80[%] kada je taj tlak za obe membrane jednak. Daljnjim povećanjem stupnja iskoristivosti bolje rezultate postiže membrana ESPA2+. Rješenje za slučaj kada je stupanj iskoristivosti 90[%] za membranu ESPA2+ nije konvergiralo.

Dijagrami 4.2.3a. i 4.2.3b. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženu bar-ima na oba stupnja sustava RX(5,5/4,3)-RC. Oba dijagrama prate oblik promijene ulaznog tlaka. Tako da sustav načinjen od membrana BW30LE-440 ima nešto veće vrijednosti od sustava ESPA2+ membrana do vrijednosti stupnja iskoristivosti od 80[%] kad je jednak.

Dijagrami 4.2.4a. i 4.2.4b. prikazuju promijenu prosječnog fluksa izraženog u $[l/m^2h]$ na oba stupnja sustava RX(5,5/4,3)-RC. Iz dijagrama za prvi stupanj vrijedi, već nepisano pravilo, da membrana ESPA2+ ima nešto veći fluks u cijelom intervalu stupnja iskoristivosti. Na drugom stupnju i u slučaju povrata koncentrata, membrana BW30LE-440 ima bolju karakteristiku, odnosno više vrijednosti prosječnog fluksa.

RX(5,4/3,3)-RC

Ovaj sustav je napravljen isto kao nadogradnja sustava iz prethodnog poglavlja, prema tome riječ je o dvo-stupanjskom protočnom sustavu sa povratom koncentrata sa drugog stupnja ispred visoko-tlačne pumpe. Prvi stupanj se sastoji od 5 tlačnih cijevi unutar svake od njih nalazi se 4 membranska elementa, dok se drugi stupanj sastoji od 3 tlačne cijevi sa po 3 membranska elementa.

Dijagram 4.2.1b. prikazuje promijenu potrošene spec.energije izražene u $[kWh/m^3]$ za sustav RX(5,4/3,3)-RC. Ponavlja se slučaj iz kao sa prethodnim sustavom tj. membrana BW30LE-440 troši veću količinu energije nad cijelim intervalom od 60 do 85[%] stupnja iskoristivosti. Iznimka je slučaj kada je stupanj iskoristivosti 85[%] kada su vrijednosti specifične energije jednake za obe membrane. U tim točkama potrošnja spec. energije za obje membrane je jednaka. Riješenje u IMSDesign-u za vrijednost stupnja iskorištenja 90[%] nije konvergiralo.

Dijagrami 4.2.2c. i 4.2.2d. prikazuju promijenu ulaznog tlaka izraženih u bar-ima na oba stupnja sustava RX(5,4/3,3)-RC. Iz prethodnog dijagrama može se zaključiti kako će krivulja ulaznog tlaka na oba stupnja pratiti ponašanje krivulje potrošnje spec.energije. Tako da u intervalu od 60 do 85[%] vrijednost ulaznih tlakova na oba stupnja bude veća za membranu BW30-LE-440. Za vrijednost stupnja iskoristivosti od 85[%] ulazni tlakovi su jednaki za obe membrane.

Dijagrami 4.2.3c. i 4.2.3d. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženih u bar-ima na oba stupnja sustava RX(5,4/3,3)-RC. Uzimajući u obzir činjenicu kako je ulazni tlak na oba sustava, gotovo cijelim intervalom stupnja iskorištenja, veći za membranu BW30LE-440, može se reći da ona nastavlja logičan niz započet dijagramima ulaznih tlakova.

Dijagrami 4.2.4c. i 4.2.4d. prikazuju promijenu prosječnog fluksa izraženog u $[l/m^2h]$ na oba stupnja za sustav RX(5,4/3,3)-RC. Ovaj dijagram prikazuje kako membrana ESPA2+ ima veći fluks u cijelom području stupnja iskoristivosti. Granični stupanj iskoristivosti od 70[%] daje jednake vrijednosti prosječnog fluksa za obe membrane prvog stupnja. Drugi stupanj nad cjelokupnim intervalom pripada većim vrijednostima membrane BW30LE-440.

RX(4,4/3,2)-RC

Ovaj susutav je napravljen kako protočni sustav sa povratom koncentrata sa drugoga stupnja ispred visoko-tlačne pumpe unutar RO jedinice. Sastoji se od 4 tlačne cijevi sa po 4 membranska elementa u prvom stupnju, te 3 tlačne cijevi sa po 3 elementa u drugom stupnju.

Dijagram 4.2.1c. prikazuje promijenu spec.energije izraženu u $[\text{kWh}/\text{m}^3]$ na oba stupnja sustava RX(4,4/3,2)-RC. Unutar cijelog intervala iskoristivosti od 60 do 85[%] veća je potrošnja od strane BW30LE-440 membrane za oba stupnja. Jedini izuzetak je granični slučaj kada je stupanj iskoristivosti 60[%]. Za stupanj iskoristivosti od 90[%] u IMSDesign-u, rješenje nije konvergiralo.

Dijagrami 4.2.2e. i 4.2.2f. prikazuju promijenu ulaznog tlaka izraženu u bar-ima za oba stupnja sustava RX(4,4/3,2)-RC. Vrijednosti ulaznog tlaka na cjelokupnom intervalu je veća za BW30LE-440 membranu.

Dijagrami 4.2.3e. i 4.2.3f. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(4,4/3,2)-RC. Kako bi se svladao hidrodinamički otpor membrane i da bi se postigao jednak stupanj iskoristivosti, potrebno je tlačiti sirovu vodu na veći tlak u slučaju BW30LE-440 membrane, nego u slučaju ESPA2+ nad cijeli intervalom stupnja iskoristivosti.

Dijagrami 4.2.4e. i 4.2.4f. prikazuju promijenu prosječnog fluksa izraženog u $[\text{l}/\text{m}^2\text{h}]$ na oba stupnja sustava RX(4,4/3,2)-RC. Tako na prvom stupnju ESPA2+ ima nešto bolje vrijednosti. Na drugom stupnju, već tradicionalno, veće vrijednosti fluksa ima membrana BW30LE-440.

RX(4,3/3,2)-RC

Ovaj sustav je napravljen kao nadogradnja na otvoreni protočni sustav sa pooratom koncentrata. Tako da je prvi stupanj napravljen od 4 tlačne cijevi sa po 3 membranska elementa. Dok je drugi stupanj napravljen od 3 tlačne cijevi sa po 2 elementa.

Dijagram 4.2.1d. prikazuje promijenu spec.energije izraženu u $[\text{kWh}/\text{m}^3]$ za sustav RX(4,3/3,2)-RC. Kako je ranije utvrđeno, BW30LE-440 membrana predstavlja element koji troši više energije. I to u ovom slučaju nad cijelim intervalom promjene stupnja iskoristivosti. Gdje ta razlika raste, kako raste i sam stupanj iskoristivosti.

Dijagrami 4.2.2g. i 4.2.2h. prikazuju promijenu ulaznog tlaka izraženog u bar-ima na oba stupnja sustava RX(4,3/3,2)-RC. Obzirom da je potrošnja spec.energije membrane BW30LE-440 veća nad cijelim intervalom stupnja iskoristivosti, samim tim se može zaključiti kako ulazni tlak nad cijelim intervalom te membrane mora biti veći.

Dijagrami 4.2.3g. i 4.2.3h. prikazuju promijenu tlaka koncentrata izraženu u bar-ima za oba stupnja iskoristivosti sustava RX(4,3/3,2)-RC. Kako je ulazni tlak nad gotovo čitavim intervalom stupnja iskoristivosti za membranu BW30LE-440 veći, tako i tlak koncentrata mora pratiti te vrijednosti.

Dijagrami 4.2.4g. i 4.2.4h. prikazuju promijenu prosječnog fluksa izraženog u $[\text{l}/\text{m}^2\text{h}]$ za oba stupnja sustava RX(4,3/3,2)-RC. U slučaju prvog stupnja veće vrijednosti prosječnog fluksa postiže membrana BW30LE-440. Dok u slučaju drugog stupnja bolje više vrijednosti postiže membrana ESPA2+ nad cjelokupnim intervalom stupnja iskoristivosti.

5. ODABIR OPTIMALNE R/O JEDINICE

Odabir optimalne R/O jedinice napravljen je na osnovu sljedećih parametara: broj membrana, stupanj iskorištenja, ulazni tlak, tlak koncentrata, prosječni fluks, specifična energija. Na početku valja naglasiti da su u sljedećim tablicama osjenčano označeni sustavi koji nisu funkcionalni, a čije vrijednosti su korištene u prethodnoj usporedbi dviju sličnih membrana. Sustavi su podijeljeni u dvije skupine: rezultati dobiveni u Reverse Osmosis system Analysis-u(ROSA) i u IMSDesign-u.

ROSA

ROSA RX(5,5-4,3) $\Sigma = 37$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	11,14 10,08	17,81 14	16,82 7,76	0,66
2.	65	12,11 11,09	16,12 12,25	18,48 7,88	0,67
3.	70	13,28 12,31	12,65 12,10	20,29 7,67	0,68
4.	75	14,76 13,82	14,17 13,66	22,30 7,06	0,70
5.	80	16,90 16,03	16,37 15,91	24,71 5,61	0,75
6.	85	20,30 19,50	19,85 19,43	27,40 3,57	0,84
7.	90	26,97 26,27	26,61 26,23	30,06 1,58	1,05

Tablica 5.1. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,5-4,3).

ROSA RX(5,4-3,3) $\Sigma = 29$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	12,45 11,52	11,86 11,07	20,57 11,37	0,74
2.	65	13,55 12,65	13,00 12,27	22,53 11,77	0,74
3.	70	14,85 13,98	14,32 13,66	24,66 11,80	0,75
4.	75	16,46 15,62	15,97 15,37	27,04 11,27	0,78
5.	80	18,64 17,85	18,19 17,66	29,81 9,86	0,82
6.	85	22,13 21,39	21,74 21,27	33,23 7,03	0,92

7.	90	29,14 28,47	28,81 28,41	37,17 3,02	1,14
----	----	----------------	----------------	---------------	------

Tablica 5.2. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,4-3,3).

ROSA RX(4,4-3,2) $\Sigma = 22$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	14,73 13,59	13,93 13,29	25,97 16,36	0,87
2.	65	16,07 14,96	15,31 14,70	28,38 17,07	0,88
3.	70	17,62 16,54	16,89 16,33	30,95 17,36	0,89
4.	75	19,47 18,45	18,79 18,27	33,75 17,03	0,92
5.	80	21,88 20,90	21,24 20,77	36,92 15,70	0,96
6.	85	25,47 24,55	24,89 24,46	40,76 12,62	1,05
7.	90	32,50 31,67	32,02 31,63	45,66 6,69	1,27

Tablica 5.3. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,4-3,2).

ROSA RX(4,3-3,2) $\Sigma = 15$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	16,79 15,82	16,16 15,50	31,72 22,17	0,99
2.	65	18,40 17,45	17,79 17,17	34,68 23,39	1,00
3.	70	20,23 19,30	19,65 19,07	37,83 24,24	1,02
4.	75	22,39 21,50	21,84 21,30	41,26 24,51	1,05
5.	80	25,13 24,26	24,61 24,11	45,15 23,88	1,11
6.	85	29,01 28,18	28,52 28,07	49,85 21,60	1,20
7.	90	36,08 35,31	35,66 35,25	56,32 15,79	1,41

Tablica 5.4. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,3-3,2).

ROSA RX(5,5/4,3)-RC $\Sigma = 37$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	11,32 10,20	10,55 9,86	16,74 7,93	0,70
2.	65	12,33 11,25	11,60 10,96	18,36 8,12	0,71
3.	70	13,57 12,53	12,87 12,28	20,13 8,02	0,72
4.	75	15,14 14,14	14,49 13,95	22,07 7,53	0,75
5.	80	17,39 16,45	16,79 16,30	24,35 6,35	0,80
6.	85	21,07 20,21	20,55 21,10	26,99 4,43	0,91
7.	90	28,32 27,55	27,90 27,49	29,72 2,30	1,15

Tablica 5.5. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,5-4,3)-RC.

ROSA RX(5,4/3,3)-RC $\Sigma = 29$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	12,64 11,66	12,00 11,15	20,49 11,55	0,78
2.	65	13,79 12,84	13,18 12,39	22,42 12,03	0,79
3.	70	15,16 14,24	14,58 13,86	24,49 12,17	0,80
4.	75	16,87 15,99	16,33 15,68	26,79 11,82	0,83
5.	80	19,24 18,40	18,74 18,16	29,45 10,68	0,89
6.	85	23,00 22,21	22,55 22,03	32,65 8,31	0,99
7.	90	30,52 29,80	30,15 29,69	36,44 4,64	1,24

Tablica 5.6. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(5,4-3,3)-RC.

ROSA RX(4,4/3,2)-RC $\Sigma = 22$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	14,93 13,72	14,06 13,38	25,89 16,58	0,92
2.	65	16,33 15,16	15,50 14,86	28,27 17,38	0,93
3.	70	17,96 16,82	17,17 16,57	30,79 17,80	0,95
4.	75	19,95 18,85	19,20 18,64	33,51 17,65	0,98
5.	80	22,58 21,54	21,88 21,37	36,58 16,61	1,04
6.	85	26,57 25,58	25,93 25,46	40,19 14,10	1,15
7.	90	34,43 33,53	33,88 33,46	44,76 9,08	1,40

Tablica 5.7. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,4-3,2)-RC.

ROSA RX(4,3/3,2)-RC $\Sigma = 15$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	17,05 16,02	16,37 15,66	31,57 22,50	1,05
2.	65	18,66 17,66	18,01 17,35	34,54 23,69	1,06
3.	70	20,59 19,61	19,96 19,34	37,62 24,65	1,08
4.	75	22,91 21,96	22,30 21,73	40,97 25,08	1,12
5.	80	25,92 25,00	25,35 24,82	44,74 24,68	1,19
6.	85	30,33 29,46	29,80 29,32	49,23 22,84	1,31
7.	90	38,62 37,80	38,14 37,70	55,12 18,21	1,57

Tablica 5.8. Radne vrijednosti sustava ROSA RX(4,3-3,2)-RC.

IMSDesign

IMSDesign RX(5,5/4,3) $\Sigma = 37$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	11,2 10,6	10,6 9,9	19,9 4,8	0,62
2.	65	11,7 10,9	10,9 10,2	21,6 6	0,65
3.	70	12,4 11,8	11,8 11,3	22,1 3,9	0,64
4.	75	14,2 13,7	13,7 13,2	24,6 2,2	0,68
5.	80	17 16,6	16,6 16,2	27,2 0,5	0,76
6.	85	22 21,6	21,6 21,3	29 0,1	0,91
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.9. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,5-4,3).

IMSDesign RX(5,4/3,3) $\Sigma = 29$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	12,5 11,2	11,2 10,2	25,5 11,4	0,75
2.	65	12,3 11,4	11,8 11,2	24 8,4	0,68
3.	70	13,4 12,6	12,6 12,1	26,5 7,6	0,69
4.	75	15 14,2	14,2 13,8	29,5 5,8	0,72
5.	80	17,6 16,9	16,9 16,5	33,1 2,6	0,79
6.	85	22,4 21,9	21,9 21,6	36,3 0,1	0,95
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.10. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,4-3,3).

IMSDesign RX(4,4/3,2) $\Sigma = 22$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	14,1 13,1	13,1 11,8	31,9 8,4	0,85
2.	65	13,7 12,9	12,9 12,1	36,7 19,5	0,76
3.	70	14,9 14,2	14,2 13,4	32,6 12,9	0,77
4.	75	16,3 15,7	15,7 15,1	35,9 11,3	0,78
5.	80	18,5 17,9	17,9 17,4	39,9 7,7	0,83
6.	85	22,8 22,4	22,4 22	44,9 1,5	0,96
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.11. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,4-3,2).

IMSDesign RX(4,3/3,2) $\Sigma = 15$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
2.	65	15,5 14,4	14,4 13,4	39,9 22,1	0,86
3.	70	16,8 13,5	15,6 14,8	40,1 19,7	0,86
4.	75	18,2 17,2	17,2 16,5	44,1 18,9	0,87
5.	80	20,2 19,3	19,3 18,7	49 16,1	0,91
6.	85	23,8 23	23 22,6	56,2 8,8	1,01
7.	90	33,4 32,9	32,9 32,6	64,2 0	1,33

Tablica 5.12. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,3-3,2).

IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC $\Sigma = 37$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	10,5 9,8	9,8 8,9	17,9 5,4	0,66
2.	65	11,4 10,7	10,7 10	19,8 5,1	0,66
3.	70	12,6 12	12 11,3	21,9 2,9	0,68
4.	75	14,4 13,8	13,8 13,2	24,3 2,4	0,72
5.	80	17,2 16,7	16,7 16,2	26,9 1	0,81
6.	85	22 21,7	21,7 21,3	29,1 0,1	0,97
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.13. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,5-4,3)-RC.

IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC $\Sigma = 29$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	60	11,6 10,6	10,6 9,8	21,7 8,8	0,73
2.	65	12,6 11,6	11,6 10,9	23,9 8,8	0,73
3.	70	13,3 12,5	12,5 12	24,7 6,9	0,72
4.	75	15,3 14,5	14,5 14	29,1 6,6	0,77
5.	80	17,8 17,1	17,1 16,7	32,6 3,7	0,83
6.	85	22,6 22	22 21,6	36,1 0,6	1
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.14. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(5,4-3,3)-RC.

IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC $\Sigma = 22$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	12,9 12,1	12,9 11	27,1 13,3	0,81
2.	65	14 13,2	13,2 12,2	29,7 13,7	0,81
3.	70	15,2 14,4	14,4 13,6	32,4 13,4	0,81
4.	75	16,8 16	16 15,3	35,6 12,1	0,84
5.	80	19 18,4	18,4 17,8	39,4 9	0,89
6.	85	23,2 22,6	22,6 22,1	44,2 3,4	1,02
7.	90	-	-	-	-

Tablica 5.15. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,4-3,2)-RC.

IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC $\Sigma = 15$ ELEMENATA	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
1.	60	14,7 13,4	13,4 12,3	33,5 18,7	0,92
2.	65	15,9 14,6	14,6 13,5	36,6 19,6	0,92
3.	70	17,2 15,9	15,9 15	39,9 20	0,92
4.	75	18,7 17,6	17,6 16,8	43,8 19,4	0,94
5.	80	20,9 19,8	19,8 19,2	48,5 17,1	0,98
6.	85	24,6 23,6	23,6 23,1	55 11,2	1,09
7.	90	33,7 33	33 32,6	63,6 1,3	1,4

Tablica 5.16. Radne vrijednosti sustava IMSDesign RX(4,3-3,2)-RC.

FUNKCIONALNI SUSTAVI

Pojedini sustavi koji nisu navedeni sljedećom tablicom predstavljaju nefunkcionalne sustave. Ralog tomu leži u tri osnovna problema koja se javljaju kod njih, a to su:

1. premali protok koncentrata;
2. prevelik stupanj iskorištenja za pojedini element;
3. prevelik protok premeata .

Sustavi koji zadovoljavaju postavljene preduvijete, odnosno sustavi koji su uzeti u daljnje razmatranje u ROSA-i prikazani su sljedećom tablicom:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
ROSA RX(5,5-4,3)	60	11,14 10,08	17,81 14	16,82 7,76	0,66
ROSA RX(5,5-4,3)	65	12,11 11,09	16,12 12,25	18,48 7,88	0,67
ROSA RX(5,4-3,3)	60	12,45 11,52	11,86 11,07	20,57 11,37	0,74
ROSA RX(5,4-3,3)	65	13,55 12,65	13,00 12,27	22,53 11,77	0,74
ROSA RX(4,4-3,2)	60	14,73 13,59	13,93 13,29	25,97 16,36	0,87
ROSA RX(4,4-3,2)	65	16,07 14,96	15,31 14,70	28,38 17,07	0,88
ROSA RX(5,5/4,3)-RC	60	11,32 10,20	10,55 9,86	16,74 7,93	0,70
ROSA RX(5,5/4,3)-RC	65	12,33 11,25	11,60 10,96	18,36 8,12	0,71
ROSA RX(5,5/4,3)-RC	70	13,57 12,53	12,87 12,28	20,13 8,02	0,72
ROSA	60	12,64	12,00	20,49	0,78

RX(5,4/3,3)-RC		11,66	11,15	11,55	
ROSA RX(5,4/3,3)-RC	65	13,79 12,84	13,18 12,39	22,42 12,03	0,79
ROSA RX(5,4/3,3)-RC	70	15,16 14,24	14,58 13,86	24,49 12,17	0,80
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	60	14,93 13,72	14,06 13,38	25,89 16,58	0,92
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33 15,16	15,50 14,86	28,27 17,38	0,93
ROSA RX(4,3/3,2)-RC	60	17,05 16,02	16,37 15,66	31,57 22,50	1,05

Tablica 5.17. Funkcionalni ROSA sustavi.

Sustavi koji zadovoljavaju postavljene preduvijete, odnosno sustavi koji su uzeti u daljnje razmatranje u IMSDesign-u prikazani su sljedećom tablicom:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
IMSDesign RX(5,4/3,3)	60	12,5 11,2	11,2 10,2	25,5 11,4	0,75
IMSDesign RX(5,4/3,3)	65	12,3 11,4	11,8 11,2	24 8,4	0,68
IMSDesign RX(5,4/3,3)	70	13,4 12,6	12,6 12,1	26,5 7,6	0,69
IMSDesign RX(4,4/3,2)	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
IMSDesign RX(4,3/3,2)	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	60	10,5 9,8	9,8 8,9	17,9 5,4	0,66
IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	60	11,6 10,6	10,6 9,8	21,7 8,8	0,73

IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	65	12,6 11,6	11,6 10,9	23,9 8,8	0,73
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	60	12,9 12,1	12,9 11	27,1 13,3	0,81
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	65	14 13,2	13,2 12,2	29,7 13,7	0,81

Tablica 5.18. Funkcionalni IMSDesign sustavi.

Jedan od glavnih kriteija, kojim se dolazilo do konačnog odabira, je broj membrana. Prvenstveno iz razloga kako je cijena pojedine membrane cca 5000 kn uključujući prijevozne troškove. Zbog toga se došlo do zaključka kako je optimalnije odlučiti se za sustave kao što su RX(4,4/3,2) i RX(4,3/3,2) ili RX(4,4/3,2)-RC i RX(4,3/3,2)-RC.

Daljnji odabir izvršen je na osnovu drugog kriterija, prema stupnju iskoristivosti. Kako je Stara Baška turističko naselje koje obiluje izvorima bočate vode, potrebno je odabrati sustav koji ne treba imati visok supanj iskoristivosti. Obzirom da se svi navedeni sustavi kreću između 60 i 65[%] iskoristivosti, uvijet je zadovoljen.

Ti sustavi su navedeni u sljedećoj tablici:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
ROSA RX(4,4-3,2)	60	14,73 13,59	13,93 13,29	25,97 16,36	0,87
ROSA RX(4,4-3,2)	65	16,07 14,96	15,31 14,70	28,38 17,07	0,88
IMSDesign RX(4,4/3,2)	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
IMSDesign RX(4,3/3,2)	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	60	14,93 13,72	14,06 13,38	25,89 16,58	0,92
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33 15,16	15,50 14,86	28,27 17,38	0,93
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	60	12,9 12,1	12,9 11	27,1 13,3	0,81
IMSDesign	65	14	13,2	29,7	0,81

RX(4,4/3,2)-RC		13,2	12,2	13,7	
ROSA RX(4,3/3,2)-RC	60	17,05 16,02	16,37 15,66	31,57 22,50	1,05

Tablica 5.19. Sustavi sa stupnjem iskoristivosti sirove vode od 60 i 65[%].

Osnovna razlika između otvorenog protočnog sustava i otvorenog protočnog sustava sa recirkulacijom koncentrata je u tome, što recirkulacijski sustavi određenu količinu koncentrata vraćaju natrag u proces reverzne osmoze. Prednost takvih sustava je bolja iskoristivost sirove vode, ali i manja količina otpadnog koncentrata koja se pohranjuje u upojnom bunaru. Iz toga razloga pristupilo se odabiru recirkulacijskih sustava sa volumnim protokom koncentrata $Q_{konc} = 1,5 \text{ [m}^3/\text{h]}$, što je prikazano sljedećom tablicom:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	60	14,93 13,72	14,06 13,38	25,89 16,58	0,92
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33 15,16	15,50 14,86	28,27 17,38	0,93
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	60	12,9 12,1	12,9 11	27,1 13,3	0,81
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	65	14 13,2	13,2 12,2	29,7 13,7	0,81
ROSA RX(4,3/3,2)-RC	60	17,05 16,02	16,37 15,66	31,57 22,50	1,05

Tablica 5.20. Recirkulirajući sustavi stupnja iskoristivosti između 60 i 65[%].

Kako se vidi iz prethodne tablice, ostali su sustavi čiji se stupnjevi iskoristivosti kreću između 60 i 65[%]. Obzirom da je stupanj iskoristivosti od 60[%] najniža granica upotrijebljena prilikom analize sustava, takvi sustavi bili su odbačeni u daljnjem razmatranju. Sljedeća tablica prikazuje sustave koji su uzeti u konačno razmatranje:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33	15,50	28,27	0,93
		15,16	14,86	17,38	
IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	65	14	13,2	29,7	0,81
		13,2	12,2	13,7	

Tablica 5.21. Optimalni sustavi.

Prethodna tablica ukazuje na mogućnost odabira između dva sustava, dakle imamo sustav RX(4,4/3,2) proizvođača Dow Chemical-a (ROSA) i Hydranautics-a (IMSDesign). Kako se vidi iz prethodne tablice membrana ESPA2+ za razliku od membrane BW30LE-440 ima niže vrijednosti ulaznog tlaka i tlaka koncentrata, ali i više vrijednosti prosječnog fluksa. S tim da valja naglasiti kako je razlika u potrošnji specifične energije ipak veća od zanemarive. Veliku ulogu ima i cijena pojedinog membranskog elementa – BW30LE-440 (Dow Chemical) je \$708,00, dok je ESPA2+ (Hydranautics) \$608,00. Kod odabira membrane uzeta je u obzir činjenica kako je faktor $\beta = 1,19$ ima premalu vrijednost na prvom stupnju (minimalna vrijednost je $\beta_{min} = 1,2$). Tako da je na koncu odabrana membrana BW30LE-440, odnosno sustav:

Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar]	Tlak koncentrata [bar]	Prosječni fluks [l/m ² h]	Specifična energija [kWh/m ³]
		1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj	1.stupanj 2.stupanj
ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33	15,50	28,27	0,93
		15,16	14,86	17,38	

Tablica 5.22. Odabrani R/O sustav.

Izveštaj simulacije toga sustava i svojstva membrane dani su u nastavku:

6. OSNOVNI PRORAČUN POSTROJENJA

6.1. PREDOBRAĐA VODE

Zdenac se nalazi na otoku Krku u Staroj Baškoj gdje predstavlja jedan od sastavnih elemenata tamošnjeg vodoopskrbnog sustava. Ispitivanjem je utvrđeno kako je riječ o zdencu dinamičnog kapaciteta od 10 [l/s]. Mjerenja su vršena u nekoliko navrata sa različitim kapacitetom crpljenja bočate vode, te se nakon toga utvrdila dinamička dubina 100 [m] pri kapacitetu crpljenja od 10 [l/s].

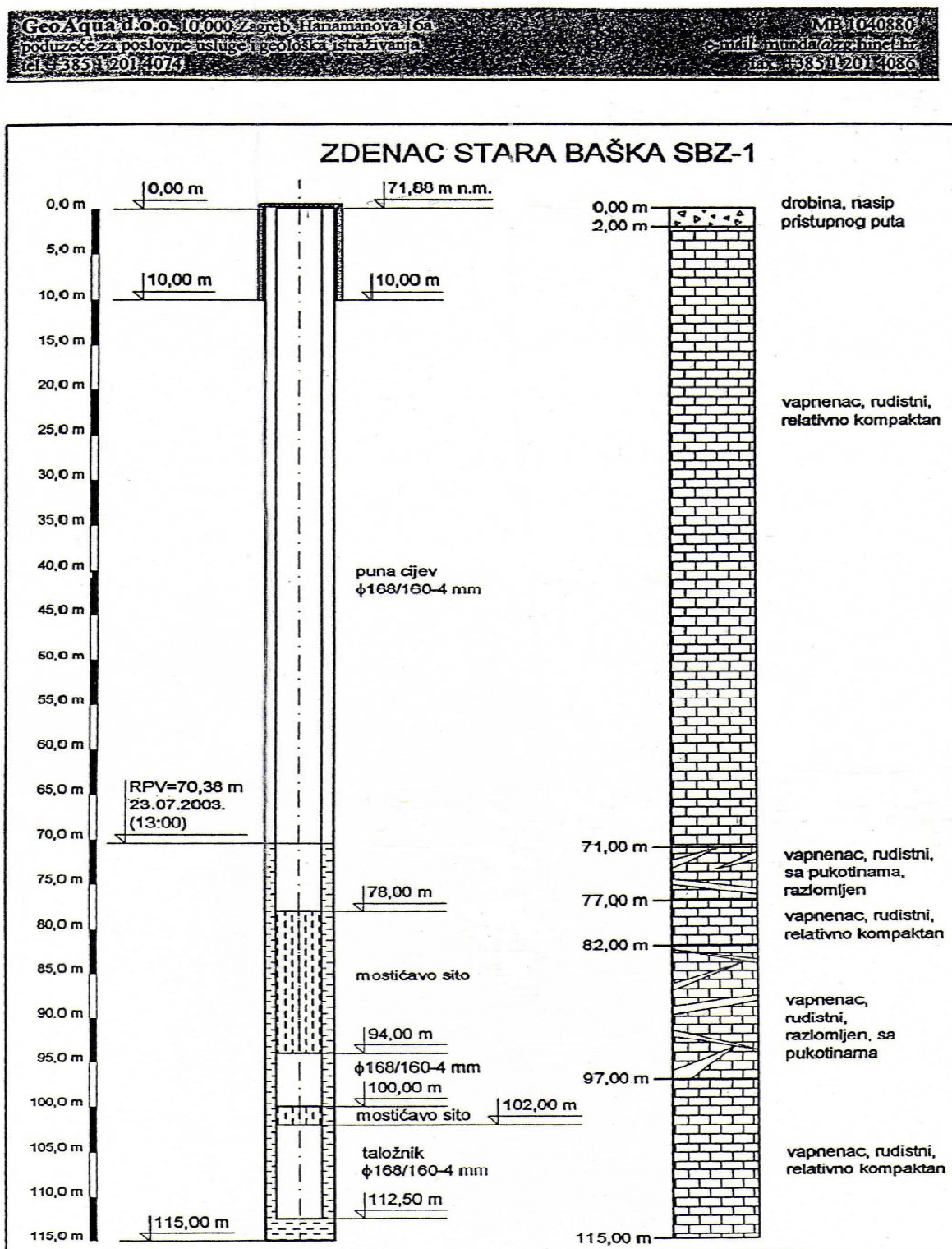
Kako bi se očuvao integritet zdenaca na toj dubini, nakon iskapanja je u bušotinu stavljena čelična cijev promjera 168X4 [mm]. Cijev na svome kraju ima dva mostićava sita.

Sastav i svojstva sirove bočate vode dan je u nastavku:

Temperatura	°C	15
Mutnoća	NTU	0,7
El.vodljivost	μS/cm	8050
pH vrijednost	-	7,77
Alkalitet	meq/l	3,197
Sulfati	meq/l	9,432
Fluoridi	meq/l	0,01
Kloridi	meq/l	71,221
Bromidi	meq/l	0,1
Nitrati	meq/l	0,418
Nitriti	meq/l	0,00
Fosfati	meq/l	0,00
Amonijak	meq/l	0,00
Kalcij	meq/l	0,00
Magnezij	meq/l	14,567
Natrij	meq/l	58,859
Kalij	meq/l	0,841

Tablica 6.1. Svojstva sirove bočate vode.

Na slici ispod prikazana je bušotina sa ugrađenom čeličnom cijevi [7]:



Slika 6.1.1. Presjek zdenca sa mostićavim sitom.

Linijski gubici nastaju kao posljedica pada tlaka uslijed otpora strujanju fluida zbog unutrašnje hrapavosti cijevne stijenke.

Linijski gubici se određuju prema izrazu Darcy-Weissbacha, a koji glasi [8]:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho * g} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{w^2}{2 * g} = \sum \lambda * \frac{8 * L * Q^2}{\pi^2 * D^5 * g} [m]$$

Lokalni gubici se određuju prema izrazu [8] :

$$h_{fm} = \sum K * \frac{w^2}{2 * g} [m]$$

Reynolds-ov broj se računa prema [8]:

$$Re = \frac{\rho * w * D}{\mu} = \frac{4 * \rho * Q}{\pi * D * \mu}$$

Da bi se odredio faktor trenja cijevne stijenke za turbulentno strujanje, koristi se Colebrook-White-ova jednačba. No budući da se ona rješava iterativnim postupkom, korišten je pojednostavljeni izraz u Swamee-Jain za $Re > 5000$ koji glasi:

$$\lambda = \frac{1,325}{[\ln(\frac{k}{3,7 * D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2}$$

Nakon toga se traži Q - H karakteristika cjevovoda iz izraza [9]:

$$H = h + \frac{w^2}{2 * g} + \sum K * \frac{w^2 * Q^2}{2 * g} + \sum \lambda * \frac{8 * L * Q^2}{\pi^2 * D^5 * g} [m]$$

Nakon što se odredi karakteristika cjevovoda prema prethodnom izrazu, može se odrediti tlak fluida na koji ga tlači pojedina pumpa uz pomoć sljedećeg izraza [10]:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho * g} + h + \frac{w^2}{2 * g} [m]$$

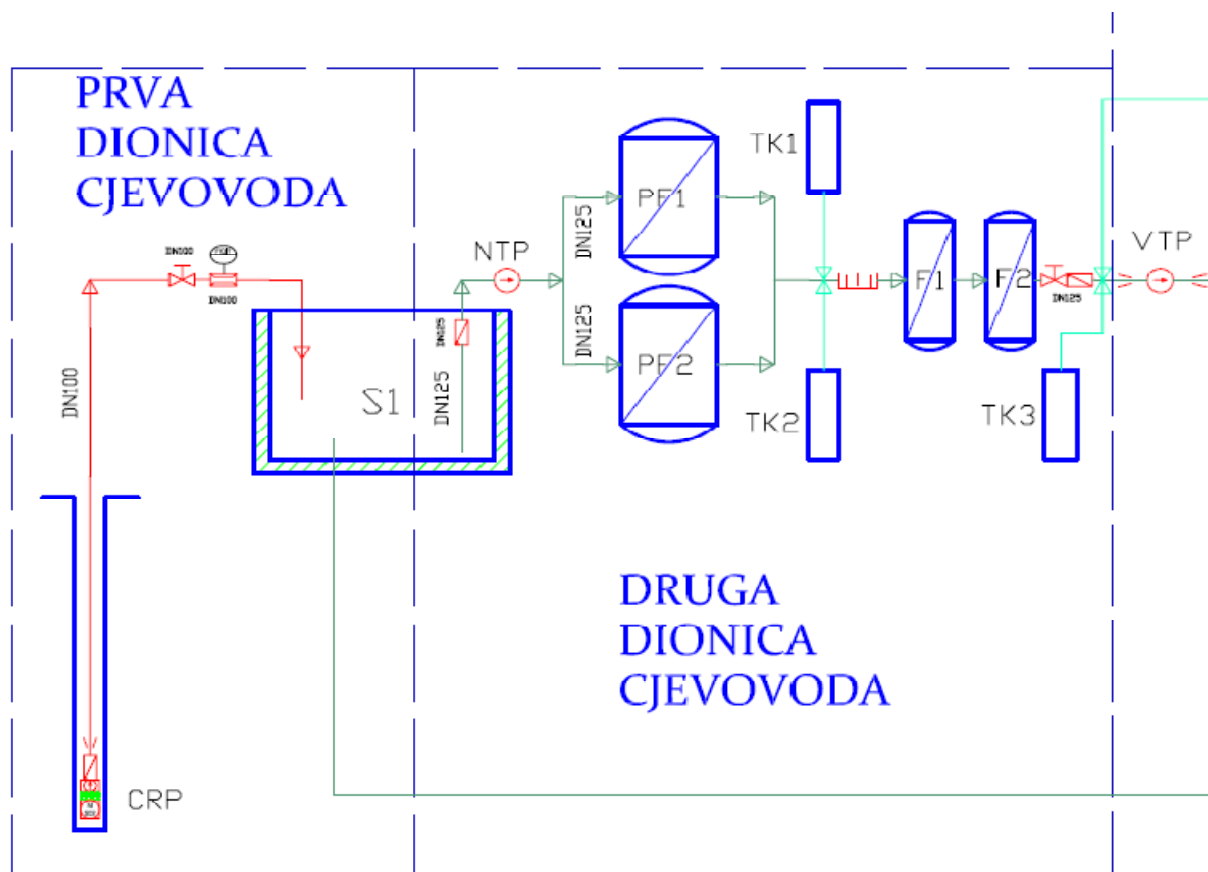
Pojedini tlakovi dobiveni su iz izraza za Bernoulli-jevu jednačbu [10]:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho * g} + \frac{w_1^2}{\rho * g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho * g} + \frac{w_2^2}{\rho * g} = Y = konst.$$

PRVA DIONICA CJEVOVODA

Prvi dionica cjevovoda crpi sirovu vodu pumpću crpke CRP u spremnik S1. Dok druga dionica cjevovoda pomoću niskotlačne pumpe NTP crpi sirovu vodu iz spremnika S1 kroz dva paralelno spojena pješčana filtera PF1 i PF2, te dva serijski spojena vrećasta filtera PGF 55 i PGF 51 do visokotlačne pumpe VTP RO jedinice.

Na slici ispod prikazana je shema prve i druge dionice cjevovoda za predobradu sirove vode:



Slika 6.1.2. Shematski prikaz predobrade sirove vode - prva i druga dionica cjevovoda.

Prva dionica cjevovoda napravljena je od polietilenskih cijevi PE-HD 100. Sastoji se od potopne crpke, mjerača protoka i ventila. Glavni zadatak ovog dijela postrojenja jest dobava sirove vode u spremnik S1.

Pomoću $Q-H$ karakteristike može se odrediti radna točka cijelog sustava prve dionice cjevovoda. Karakteristika pumpe dobivena je iz Grundfos Data Booklet SP A, SP-Potopne crpke, potopni motori, pribor 50 Hz [11]. Karakteristika cjevovoda dobivena je hidrodinamičkim proračunom cjevovoda i glasi [24]:

$$H = 101 + 0,000\,52 \cdot Q^2 \text{ [m]}.$$

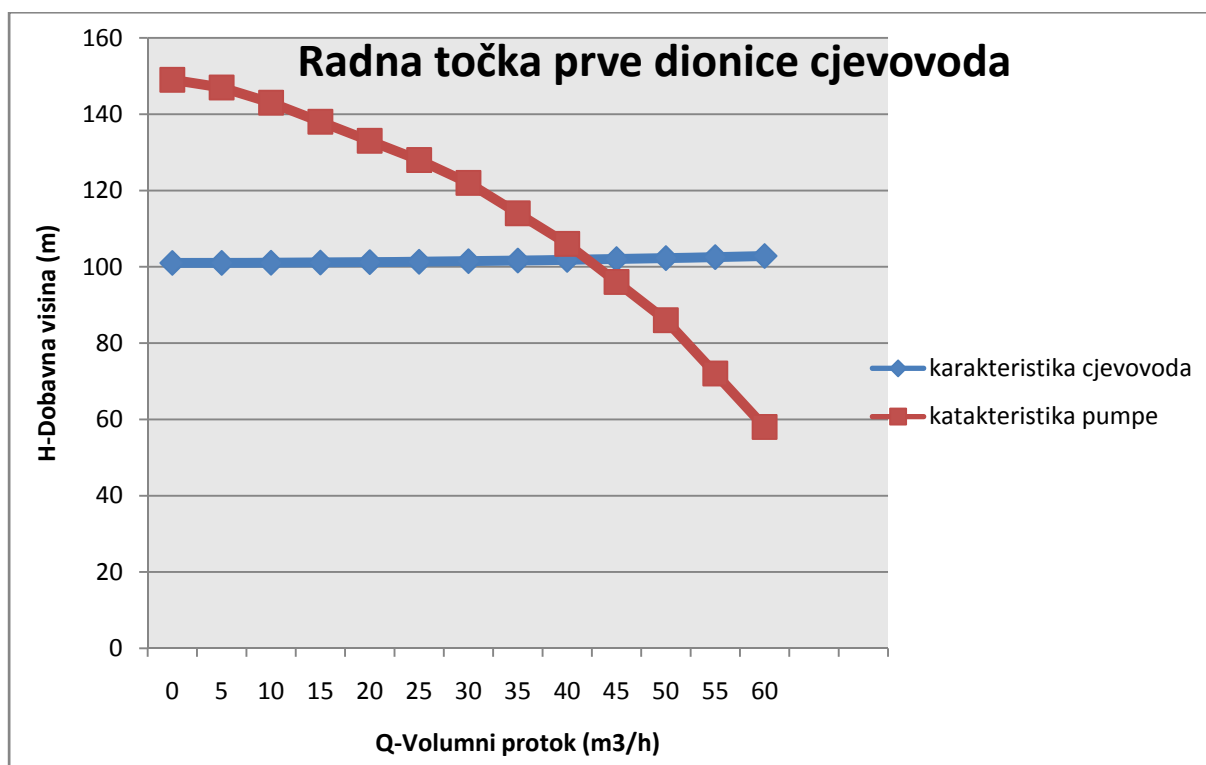
Za takav sustav odabrana je crpka: Grundfos SP 46-10 nazivne snage $P_n = 18,5$ [kW] i stupnja iskoristivosti $\eta = 75[\%]$.

Iz Q-H karakteristike može se očitati nazivni protok $Q_n = 42$ [m³/h] i nazivna visina dobave $H_n = 103,5$ [m]. Prema jednadžbi [24]:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ [W];}$$

Vrijedi da je potrebna snaga na temelju ove radne točke $P = 12213$ [W]. Niskotlačna pumpa tlači sirovu vodu na tlak $p_2 = 291\,148,03$ [Pa] = 2,91 [bar].

Na slici ispod prikazana je Q-H karakteristika prve dionice cjevovoda:



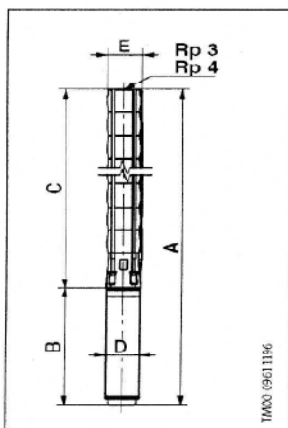
Dijagram 6.1.3. Radna točka prve dionice cjevovoda.

Na sljedećih nekoliko stranica dane su karakteristike izabrane centrifugalne pumpe:

Tehnički podaci

Potopne crpke
SP 46

Dimenzije i težine



SP 46-26 do SP 46-37 montirane su u plašt sa R 4 spoj.

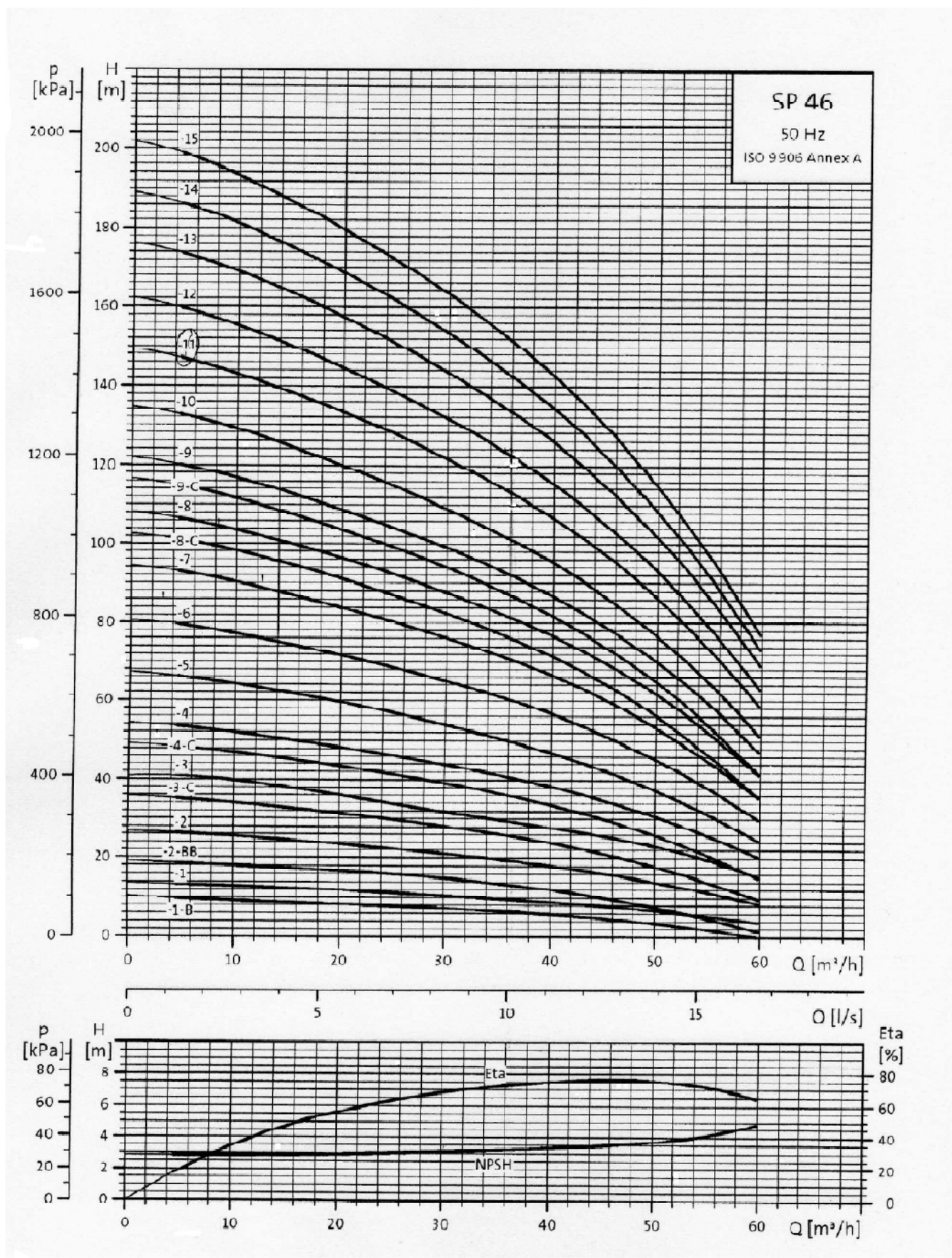
tip crpke	motor		dimenzije (mm)										neto masa [kg]
	tip	snaga [kW]	Rp 3 spoj				Rp 4 spoj				B	D	
			A	C	E*	E**	A	C	E*	E**			
SP 46-1-B	MS 4000	1,1	777	364	141		783	370	145		413	95	20
SP 46-1	MS 4000	2,2	817	364	141		823	370	145		453	95	22
SP 46-2-BB	MS 4000	2,2	930	477	141		936	483	145		453	95	24
SP 46-2	MS 4000	3,0	970	477	141		976	483	145		493	95	25
SP 46-3-C	MS 4000	4,0	1163	590	141		1169	596	145		573	95	32
SP 46-3	MS 4000	5,5	1263	590	141		1269	596	145		673	95	37
SP 46-4-C	MS 4000	5,5	1376	703	141		1382	709	145		673	95	39
SP 46-4	MS 4000	7,5	1476	703	141		1482	709	145		773	95	44
SP 46-5	MS 4000	7,5	1589	816	141		1595	827	145		773	95	47
SP 46-3	MS 6000	5,5	1150	606	145	150	1156	612	147	152	544	138	48
SP 46-4	MS 6000	7,5	1293	719	145	150	1299	725	147	152	574	138	52
SP 46-5	MS 6000	7,5	1406	832	145	150	1412	838	147	152	574	138	54
SP 46-6	MS 6000	9,2	1549	945	145	150	1555	951	147	152	604	138	62
SP 46-7	MS 6000	11	1692	1058	145	150	1698	1064	147	152	634	138	68
SP 46-8 C	MS 6000	11	1805	1171	145	150	1811	1177	147	152	634	138	70
SP 46-8	MS 6000	13	1835	1171	145	150	1841	1177	147	152	664	138	73
SP 46-9-C	MS 6000	13	1948	1284	145	150	1954	1290	147	152	664	138	76
SP 46-9	MS 6000	15	1983	1284	145	150	1989	1290	147	152	699	138	80
SP 46-10	MS 6000	15	2096	1397	145	150	2102	1403	147	152	699	138	82
SP 46-11	MS 6000	18,5	2264	1510	145	150	2270	1516	147	152	754	138	90
SP 46-12	MS 6000	18,5	2377	1623	145	150	2383	1629	147	152	754	138	93
SP 46-13	MS 6000	22	2550	1736	145	150	2556	1742	147	152	814	138	101
SP 46-14	MS 6000	22	2663	1849	145	150	2669	1855	147	152	814	138	104
SP 46-15	MS 6000	22	2776	1962	145	150	2782	1968	147	152	814	138	106
SP 46-16	MS 6000	26	2949	2075	145	150	2955	2081	147	152	874	138	114
SP 46-17	MS 6000	26	3062	2188	145	150	3068	2194	147	152	874	138	117
SP 46-18	MS 6000	30	3245	2301	145	150	3251	2307	147	152	944	138	128
SP 46-19	MS 6000	30	3358	2414	145	150	3364	2420	147	152	944	138	130
SP 46-20	MS 6000	30	3551	2607	145	150	3557	2613	147	152	944	138	132
SP 46-21	MMS 6000	37	4145	2720	145	150	4151	2726	147	152	1425	144	185
SP 46-22	MMS 6000	37	4258	2833	145	150	4264	2839	147	152	1425	144	188
SP 46-23	MMS 6000	37	4371	2946	145	150	4377	2952	147	152	1425	144	190
SP 46-24	MMS 6000	37	4484	3059	145	150	4490	3065	147	152	1425	144	193
SP 46-26	MMS 8000	45					4673	3403	192	192	1270	192	278
SP 46-28	MMS 8000	45					4899	3629	192	192	1270	192	284
SP 46-30	MMS 8000	45					5125	3855	192	192	1270	192	290
SP 46-33	MMS 8000	55					5544	4194	192	192	1350	192	314
SP 46-35	MMS 8000	55					5770	4420	192	192	1350	192	319
SP 46-37	MMS 8000	63					6136	4646	192	192	1490	192	351

* Maksimalni promjer crpke s jednim motorskim kabelom.

** Maksimalni promjer crpke s dva motorska kabla.

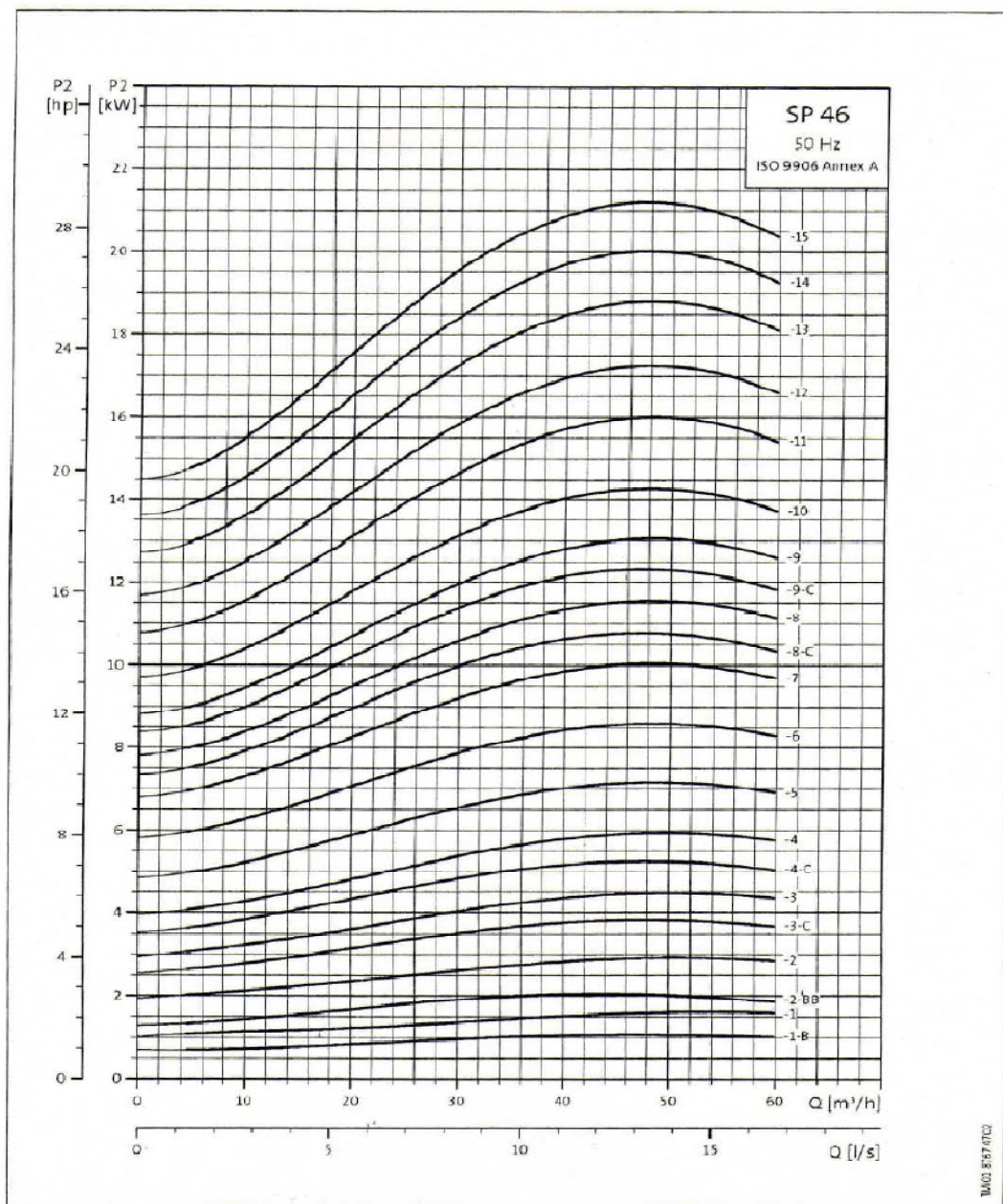
Crpke navedenih tipova mogu se nabaviti i u R1N verziji, vidi stranicu 5 za detaljnije podatke. Dimenzije kao gore.

Pomoću spojnih priborica moguće su i druge vrste spojeva, vidi stranicu 85.



Karakteristika snage

Potopne crpke
SP 46



DRUGA DIONICA CJEVOVODA

Druga dionica cjevovoda napravljena je od polietilenskih cijevi PE-HD 125, dva pješčana filtera PF1 i PF2, vrećastih filtera F1 i F2, niskotlačne pumpe NTP, mjerača protoka, zasuna i ventila. Glavni zadatak ovog dijela postrojenja sastoji se u tome da se omogući predobrada sirove vode u smislu filtracije suspendiranih čestica.

Filtracija se sastoji od dva paralelno spojena pješčanih filtera, te od dva serijski spojena vrećasta filtera različite poroznosti. Karakteristike pojedinih filtera i njihove dimenzije dane su u nastavku ovog poglavlja.

Pomoću Q-H karakteristike može se odrediti radna točka cijelog sustava prve dionice cjevovoda. Karakteristika pumpe dobivena je iz Grundfos Data Booklet CR, CRI, CRN, CRE, CRIE, CRNE Vertikalne višestupanjske centrifugalne crpke 50 Hz [12]. Karakteristika cjevovoda dobivena je hidrodinamičkim proračunom cjevovoda i glasi za oba slučaja [24]:

$$H_1 = 4,5 + 0,006\,38 * Q_1^2 \text{ [m]} - \text{za čisti filter};$$

$$H_2 = 4,5 + 0,013\,86 * Q_2^2 \text{ [m]} - \text{za prljavi filter}.$$

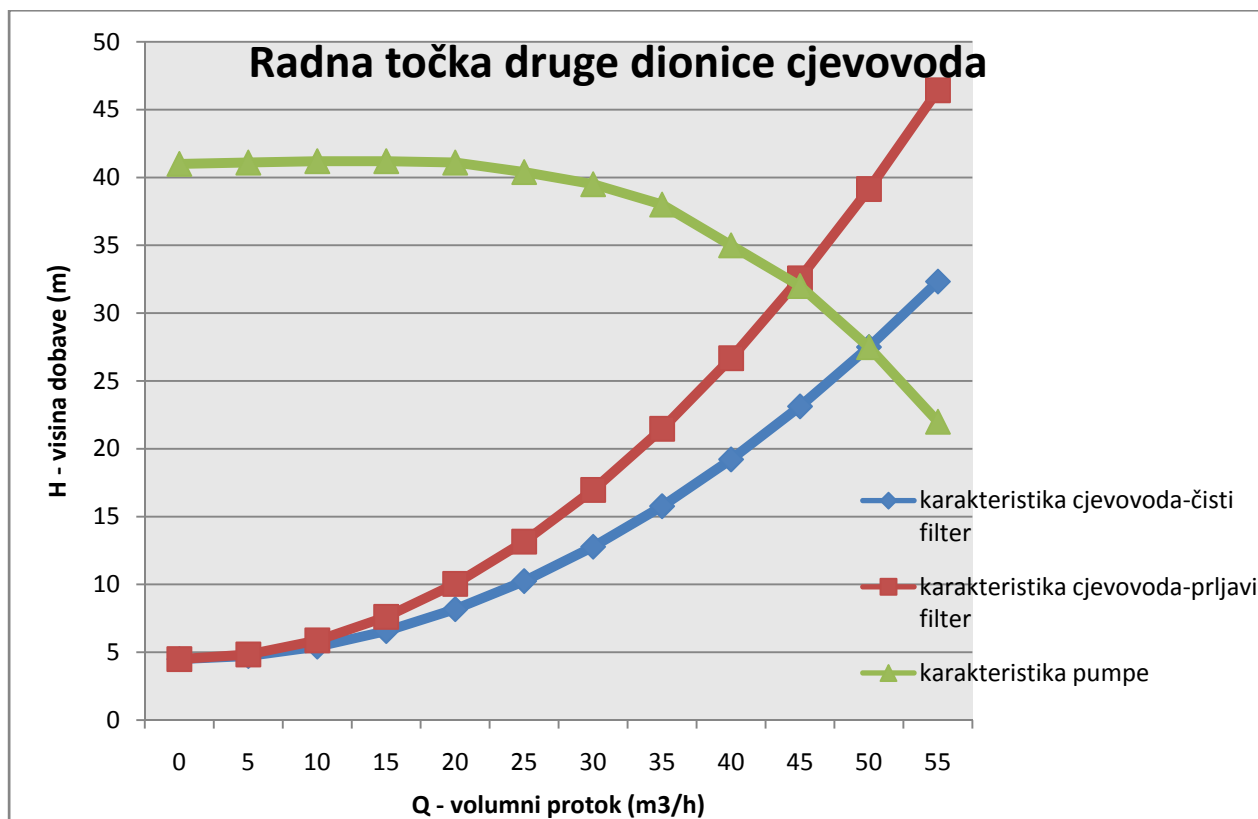
Za takav sustav odabrana je crpka: Grundfos CR(E) 45-2-2 nazivne snage $P_n = 5,5$ [kW] i stupnja iskoristivosti $\eta_1 = 77[\%]$ za čisti filter i $\eta_2 = 79[\%]$ za prljavi filter.

Iz Q-H karakteristike može se očitati za čisti filter nazivni protok $Q_{n1} = 48$ [m³/h] i nazivna visina dobave $H_{n1} = 27,5$ [m] i za prljavi filter nazivni protok $Q_{n2} = 43$ [m³/h] i nazivna visina dobave $H_{n2} = 32$ [m]. Prema jednadžbi [24]:

$$P_i = \rho * g * Q_i * H_i \text{ [W]};$$

Vrijedi da je potrebna snaga na temelju ovih radnih točkaka $P_1 = 3363,15$ [W] za čisti filter i $P_2 = 3525,187$ [W] za prljavi filter. Visokotlačna pumpa tlači filtriranu vodu na tlak $p_3 = 2\,265\,159,73$ [Pa] = 22,651 [bar].

Na slici ispod prikazana je Q - H karakteristika prve dionice cjevovoda:



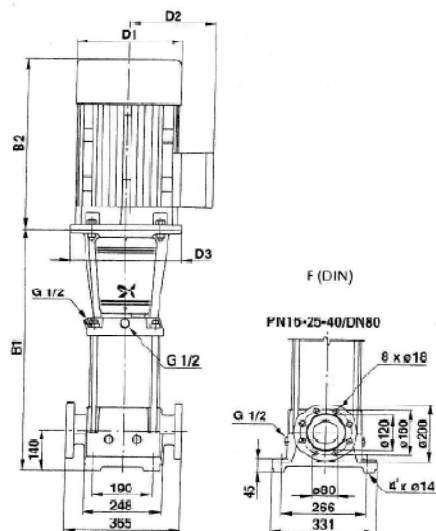
Dijagram 6.1.4. Radna točka druge dionice cjevovoda.

Na sljedećih nekoliko stranica dane su karakteristike izabrane centrifugalne pumpe:

Tehnički podaci

CR 45
CRE 45

Crtež s dimenzijama i električni podaci



tip crpke	motor P ₂ [kW]	CR					CRE
		I _{1/1} [A]	cos φ _{1/1}	η [%]	I _{start} I _{1/1}	I _{1/1} [A]	
CR(E) 45-1-1	3,0	6,4/6,4	0,87-0,80	85,0-85,0	8,0-8,6	6,4-5,2	
CR(E) 45-1	4,0	8,00	0,90-0,87	87,0-87,0	8,7-9,3	8,1-6,6	
CR(E) 45-2-2	5,5	11,0	0,89-0,86	87,5-87,5	8,9-9,7	11,0-8,8	
CR(E) 45-2	7,5	15,2	0,87-0,81	88,0-88,0	9,1-9,9	15,0-12,0	
CR 45-3-2	11,0	21,5	0,91-0,87	90,0-90,0	7,3-8,0	-	
CR(E) 45-3	11,0	21,5	0,91-0,87	90,0-90,0	7,3-8,0	21,3	
CR 45-4-2	15,0	28,7	0,87	90,0	6,0	-	
CR(E) 45-4	15,0	28,7	0,87	90,0	6,0	28,1	
CR 45-5-2	18,5	35,9-34,1	0,86	91,0	7,2	-	
CR(E) 45-5	18,5	35,9-34,1	0,86	91,0	7,2	34,2	
CR 45-6-2	22,0	42,0-40,0	0,86	91,4	7,3	-	
CR(E) 45-6	22,0	42,0-40,0	0,86	91,4	7,3	41,9	
CR 45-7-7	30,0	56,0-53,0	0,88	91,7	7,5	-	
CR 45-7	30,0	56,0-52,0	0,88	91,7	7,5	-	
CR 45-8-2	30,0	56,0-52,0	0,88	91,7	7,5	-	
CR 45-8	30,0	56,0-52,0	0,88	91,7	7,5	-	
CR 45-9-2	30,0	56,0-52,0	0,88	91,7	7,5	-	
CR 45-9	37,0	68,0-63,0	0,89	92,4	7,8	-	
CR 45-10-2	37,0	68,0-63,0	0,89	92,4	7,8	-	
CR 45-10	37,0	68,0-63,0	0,89	92,4	7,8	-	
CR 45-11-2	45,0	83,0-78,0	0,87	93,4	7,8	-	
CR 45-11	45,0	83,0-78,0	0,87	93,4	7,8	-	
CR 45-12-2	45,0	83,0-78,0	0,87	93,4	7,8	-	
CR 45-12	45,0	83,0-78,0	0,87	93,4	7,8	-	
CR 45-13-2	45,0	83,0-78,0	0,87	93,4	7,8	-	

CR standardni naponi: ≥ 3,0 kW: 3 x 380-415 V, 50 Hz

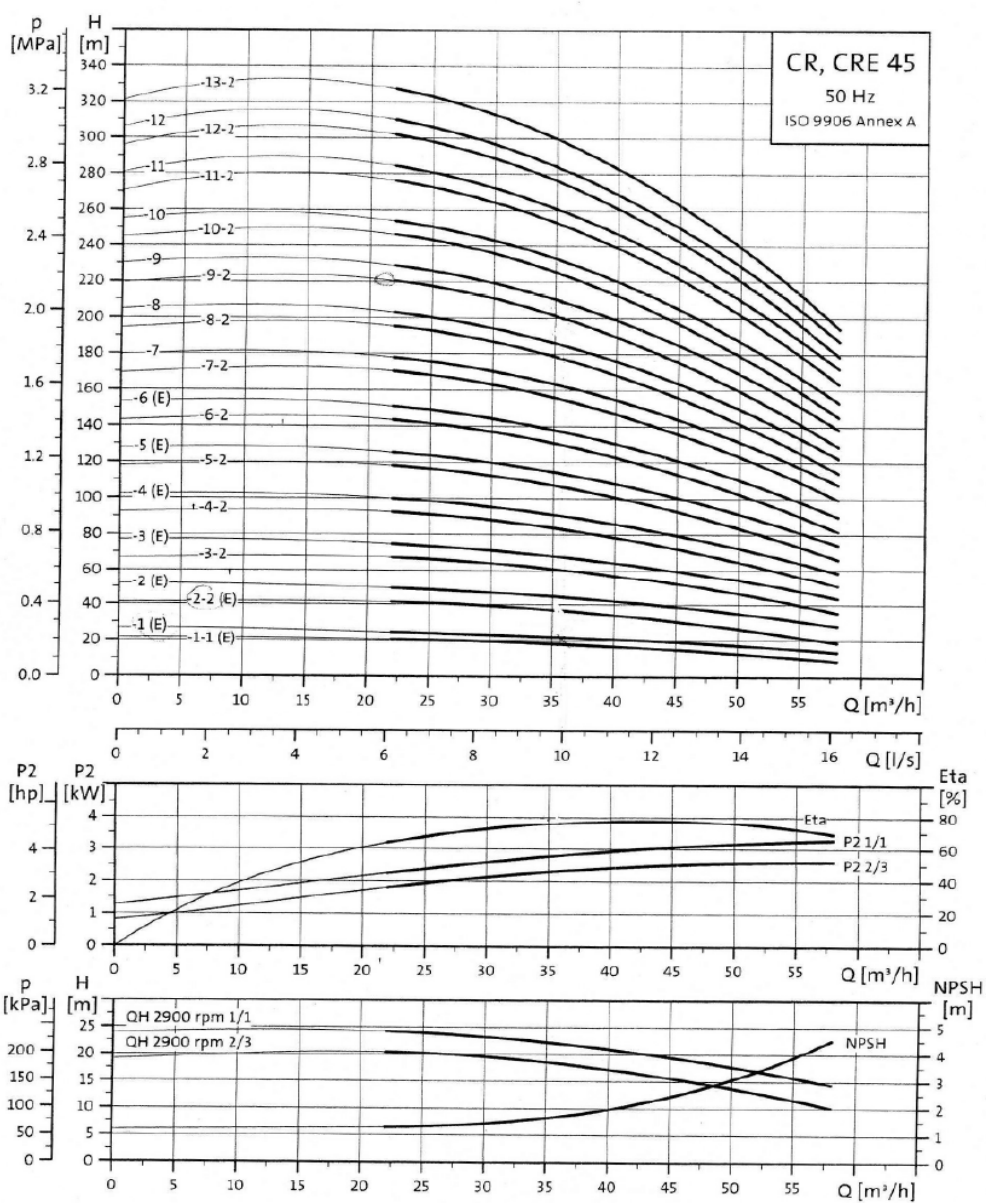
CRE standardni naponi: 3,0-7,5 kW: 3 x 380-480 V, 50/60 Hz
11-22 kW: 3 x 380-415 V, 50/60 Hz

Dimenzije i mase

tip crpke	CR					neto masa [kg]	CRE					neto masa [kg]
	dimenzije [mm]						dimenzije [mm]					
	DIN priрубica B1	B1+B2	D1	D2	D3		DIN priрубica B1	B1+B2	D1	D2	D3	
CR(E) 45-1-1	558	893	198	170	-	95,0	558	893	198	177	145	104,0
CR(E) 45-1	558	930	220	134	158	104,0	558	930	220	188	160	115,3
CR(E) 45-2-2	638	1079	220	134	298	113,0	638	1029	220	188	298	125,9
CR(E) 45-2	638	1029	220	134	298	118,0	638	1029	220	188	298	129,7
CR 45-3-2	828	1292	260	172	350	159,0	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-3	828	1292	260	172	350	159,0	828	1277	258	359	350	211,6
CR 45-4-2	908	1386	306	197	350	196,0	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-4	908	1386	306	197	350	196,0	908	1369	313	377	350	231,5
CR 45-5-2	988	1466	306	197	350	210,0	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-5	988	1466	306	197	350	210,0	988	1487	313	377	350	271,0
CR 45-6-2	1068	1628	364	269	350	267,0	-	-	-	-	-	-
CR(E) 45-6	1068	1628	364	269	350	267,0	1068	1593	351	399	350	314,0
CR 45-7-2	1148	1763	404	306	400	350,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-7	1148	1763	404	306	400	350,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-8-2	1228	1843	404	306	400	354,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-8	1228	1843	404	306	400	354,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-9-2	1308	1923	404	306	400	358,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-9	1308	1923	404	306	400	358,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-10-2	1388	2003	404	306	400	382,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-10	1388	2003	404	306	400	382,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-11-2	1468	2118	459	342	450	447,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-11	1468	2118	459	342	450	447,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-12-2	1556	2206	459	342	450	452,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-12	1556	2206	459	342	450	452,0	-	-	-	-	-	-
CR 45-13-2	1636	2286	459	342	450	457,0	-	-	-	-	-	-

Radne krivulje

CR 45
CRE 45



TMD2 7304 3103

KEMIJSKA PREDOBRAĐA

Kemijska predobrada sastoji se od dodavanja antiskalanta, koagulanta i flokulanta.

Elementi koji se dodaju i u kojim količinama dani su sljedećom tablicom [1]:

	Vrsta kemijskog spoja	Količina
Antiskalant	NaCl	9,04 [g/m ³]
Flokulant	Al(SO ₄) ₃	20 [g/m ³]
Koagulant		0,1 [g/m ³]

Tablica 6.1.2. Količina dodanih kemijskih elemenata pri predobradi vode.

Proračun spremnika TK1 napravljen je na osnovu volumnog protoka sirove vode u spremnik $Q=35$ [m³/h] i vremena pripreme otopine $\tau=8$ [h].

Potrebna količina Al-sulfata iznosi:

$$G_h = Q * m_{Al-sulfata} = 0,7 \text{ [kg/h];}$$

Volumen 10%-totne otopine Al-sulfata računa se prema izrazu:

$$V_{Al-sulfata} = \frac{G_h}{0,1} = 7 \text{ [l];}$$

Volumen posude za pripremu suspenzije:

$$V_{Al} = 1,2 * G_{10\%} * \tau = 80 \text{ [l];}$$

Konačne dimenzije spremnika TK2 su sljedeće:

$$\Phi 500 \times 450 \times 4 \text{ [m].}$$

Proračun spremnika TK3 napravljen je na osnovu volumnog protoka sirove vode u spremnik $Q=35$ [m³/h] i vremena pripreme otopine $\tau=8$ [h].

Potrebna količina elektrolita iznosi:

$$G_h = Q * m_{elektrolita} = 3,5 \text{ [g/h];}$$

Volumen 25%-totne otopine elektrolita računa se prema izrazu:

$$V_{polielektrolit} = \frac{G}{0,0025} = 7 \text{ [l];}$$

Volumen posude za pripremu suspenzije:

$$V_{polielektrolit} = 1,2 * G_{10\%} * \tau = 15 \text{ [l];}$$

Konačne dimenzije spremnika TK3 su sljedeće:

$$\Phi 250 \times 310 \times 4 \text{ [m].}$$

Kako postoje tri doziranja potrebnih kemijskih elemenata, odabrane su sljedeće dozirne pumpe [13]:

	Odabrana pumpa	Maksimalni protok [l/h]
DP1 - Antiskalant	Grundfos DMI0.3-10	0.3
DP2 - Koagulant	Grundfos DMI0.3-10	0.3
DP3 - Polielektrolit	Grundfos DMI0.3-10	0.3

Tablica 6.1.3. Odabrane dozirne pumpe.

KOMPRESOR

Komprimirani zrak se dovodi na dva mjesta: jedna grana toga zraka dovodi se do pješčanih filtera PF1 i PF2-za potrebe pranja filtera, a druga se dovodi do remineralizatora-za potrebe pranja filtera i rahljenja sredstva za remineralizaciju.

Za tu svrhu odabran je sljedeći kompresor [14]:

Odabrani kompresor	Nazivna snaga [kW]	Maks. Protok pri 800 mbar(a)*m ³ /min	Nazivni promjer priključka
Kaeser CB 110 C	18,5	9,6	DN80

Tablica 6.1.4. Odabirani kompresor.

PJEŠČANI FLITERI PF1 I PF2

Dio predobrade vode sastoji se od pročišćavanja vode pomoću pješčanih filtera PF1 i PF2. Dva pješčana filtera istih dimenzija spojena su paralelo. Volumni protok kroz filtere iznosi $Q_1 = Q_2 = 17,5$ [m³/h].

U svrhu izrade pješčanih filtera korištena su kućišta proizvođača FELLER d.o.o. Kako je riječ o gotovim polimernim kućištima, odabrana je posuda C – 4882 – F7 za oba filtera F1 i F2 [15].

Dimenzije posude su sljedeće:

Vanjski promjer – $D = 1226$ [mm];

Volumen posude – $V = 1840$ [l];

Visina cilindričnog dijela – $B = 2055$ [mm].

Prema dimenzijama posude odabrane su visine pojedinih slojeva:

$H_f = 1400$ [mm];

$H_n = 155$ [mm];

$H_s = 500$ [mm].

Obzirom da je odabrana posuda, potrebno je odabrati uređaj za regulaciju protoka sirove i prčišćene vode. Izgled i tablica potencijanih uređaja dani su u nastavku:



Slika 6.1.5. Uređaj za dovod sirove i odvod čiste vode na pješčani filter [15].

Fleck Valve	Tank Dia. Inches / mm	Adder Ht. (X) Inches / mm
2750	18 / 457	6.5 / 165
2850	21 / 533	6.5 / 165
2900	24, 30 / 610, 762	12 / 305
3150	42 / 1067	10 / 254
3900	48-63 / 1219-1600	15 / 381

Tablica 6.1.5. Radni parametri pojedinog uređaja za dovod sirove i odvod čiste vode [15].

Obzirom na promjer posude, odabran je uređaj Fleck Valve 3900 za vanjski promjer posude $D = 1226$ [mm]. Obzirom da je površina poprečnog presjeka filtera $A_1 = A_2 = 1,18$ [m²], brzina strujanja vode kroz filtere iznosi $w_1 = w_2 = 0,004\ 12$ [m/s] = 14,832 [m/h].

VREĆASTI FILTERI F1 I F2

Vrećasti filteri F1 i F2 spojeni su u seriju sa zadatkom uklanjanja sitnih nečistoća. Odabrana je oprema proizvođača Hayward.

Odabrana oprema prikazana je tablicom ispod [16]:

	Filter F1	Filter F2
Vrećasti filter	PGF 55	PGF 51
Kućište filtera	SBF-0102-AS16-050D	SBF-0102-AS16-050D

Tablica 6.1.6. Odabrani vrećasti filteri.

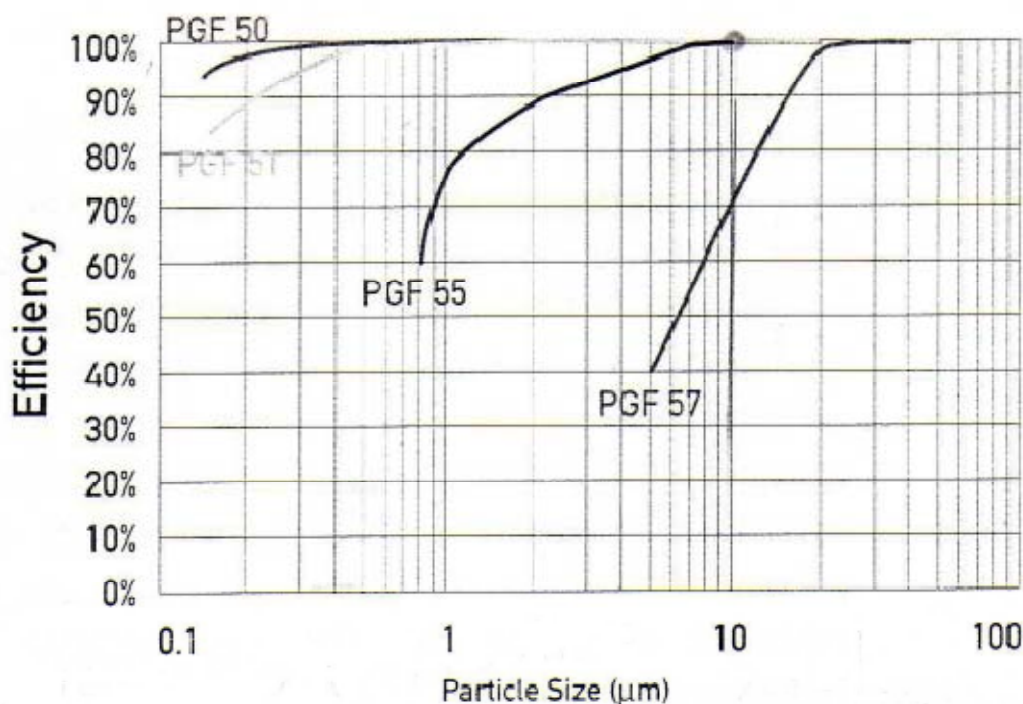
Stupnjevi separacije i padovi tlaka na pojedinom filteru dani su sljedećom tablicom [17]:

	PGF 55	PGF 51
Stupanj separacije[%]	92%	99%
Pad tlaka na filteru [bar]	0,2	0,6

Tablica 6.1.7. Stupnjevi separacije i padovi tlaka na pojedinom vrećastom filteru.

Filteri i njihova kućišta izabrani su na temelju maksimalnih vrijednosti radnih parametara prema katalogima Hayward filtration Filter bags i Hayward filtration Bag filter housings.

Na slici ispod prikazan je dijagram efikasnosti uklanjanja nečistoća za pojedini tip filtera [16]:



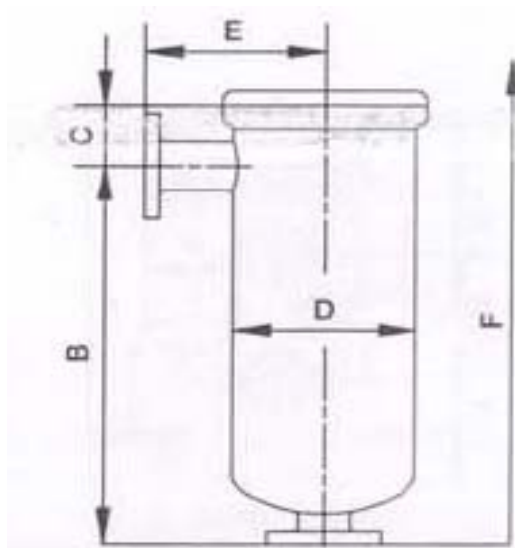
Slika 6.1.7. Stupnjevi separacije nečistoća u ovisnosti o njihovim dimenzijama.

Na slici ispod prikazano je kućište filtra Hayward tipa Sideline [17]:



Slika 6.1.8. Kućište Hayward-Sideline.

Dimenzije kućišta [17]:



Slika 6.1.9. Dimenzije kućišta Hayward-Sideline.

SERIES	Type	No. of Bags	Bag Size	max. Flow 2	Material 1	max. allowable pressure	max. allowable temperature	Housing 3 volume	Housing weight	Inlet outlet collection	Type	Vent 4	Main dimensions 3 [mm]					
			[m ² /h]			[bar]	[°C]	[L]	[kg]	N1 / N2		BSP	A	B	C	D	E	F
MAXILINE VMDE	VMDE-0401-AS10-100D	4	01	80	SS	10	120	90	180	DN 100	Flange	1/4"	475	390	229	559	400	1950
	VMDE-0402-AS10-100D	4	02	160	SS	10	120	185	220	DN 100	Flange	1/4"	475	740	229	559	400	2300
MAXILINE VMBF	VMBF-0401-AS10-100D	4	01	80	SS	10	120	110	180	DN 100	Flange	1"	475	345	205	559	400	1950
	VMBF-0402-AS10-100D	4	02	160	SS	10	120	205	220	DN 100	Flange	1"	475	740	205	559	400	2300
	VMBF-0802-AS10-150D	8	02	320	SS	10	120	440	465	DN 150	Flange	1"	520	740	245	800	520	2500
	VMBF-1202-AS10-250D	12	02	480	SS	10	120	645	770	DN 250	Flange	1"	760	820	395	950	625	3300
MAXILINE MDE	MDE-0401-AS10-100D	4	01	80	SS	10	120	90	180	DN 100	Flange	1/4"	475	330	252	559	400	2000
	MDE-0402-AS10-100D	4	02	160	SS	10	120	185	220	DN 100	Flange	1/4"	475	680	252	559	400	2350
MAXILINE MBF	MBF-0401-AS10-100D	4	01	80	SS	10	120	110	180	DN 100	Flange	1"	475	345	205	559	400	1630
	MBF-0402-AS10-100D	4	02	160	SS	10	120	205*	220	DN 100	Flange	1"	475	740	205	559	400	2270
	MBF-0802-AS10-150D	8	02	320	SS	10	120	440	465	DN 150	Flange	1"	520	740	245	800	520	2360
	MBF-1202-AS10-250D	12	02	480	SS	10	120	645	770	DN 250	Flange	1"	760	811	395	950	625	3000
	MBF-1602-AS10-300D	16	02	640	SS	10	120	945	975	DN 300	Flange	1"	875	590	470	1100	753	2800
	MBF-2002-AS10-350D	20	02	800	SS	10	120	1325	1050	DN 350	Flange	1"	980	700	555	1250	790	3085
TOPLINE	TBF-0101-AD10-050D	1	01	20	SS	10	160	13	36	DN 50	Flange	1/4"	450	395	49	219	307	1360
	TBF-0102-AD10-050D	1	02	40	SS	10	160	27,5	42	DN 50	Flange	1/4"	450	790	49	219	307	2140
	TBF-0101-AS16-050D	1	01	20	SS	16	160	13	40	DN 50	Flange	1/4"	445	341	160	219	307	1400
	TBF-0102-AS16-050D	1	02	40	SS	16	160	27,5	48	DN 50	Flange	1/4"	445	735	160	219	307	2190
SIDELINE	SBF-0103-AD16-040B	1	03	6	SS	16	160	3	12	1 1/2"	BSP	1/4"	300	75	114	110	840	
	SBF-0104-AD16-040B	1	04	12	SS	16	160	4,5	13	1 1/2"	BSP	1/4"	455	75	114	110	985	
	TSBF-0103-AD16-040B	1	03	6	SS	16	160	3	12	1 1/2"	BSP	1/4"	300	75	114	110	840	
	TSBF-0104-AD16-040B	1	04	12	SS	16	160	4,5	13	1 1/2"	BSP	1/4"	455	75	114	110	985	
	SBF-0101-AD10-050D	1	01	20	SS	10	160	18	38	DN 50	Flange	1/4"	495	80	219	220	1040	
	SBF-0102-AD10-050D	1	02	40	SS	10	160	32	46	DN 50	Flange	1/4"	890	80	219	220	1820	
	SBF-0101-AD10-080D	1	01	20	SS	10	160	18	40	DN 80	Flange	1/4"	495	80	219	220	1040	
	SBF-0102-AD10-080D	1	02	40	SS	10	160	32	48	DN 80	Flange	1/4"	890	80	219	220	1820	
	SBF-0101-AS16-050D	1	01	20	SS	16	160	18	41	DN 50	Flange	1/4"	495	80	219	220	1040	
	SBF-0102-AS16-050D	1	02	40	SS	16	160	32	51	DN 50	Flange	1/4"	890	80	219	220	1820	
	SBF-0101-AS16-080D	1	01	20	SS	16	160	18	46	DN 80	Flange	1/4"	495	80	219	220	1040	
	SBF-0102-AS16-080D	1	02	40	SS	16	160	32	56	DN 80	Flange	1/4"	890	80	219	220	1820	
DUOLINE	DTBF-0202-AD10-050D	1+1	02	40	SS	10	160	60	145	DN 50	Flange	1/4"	330	790	49	219	848	2020
	DSBF-0202-AD10-050D	1+1	02	40	SS	10	160	68	165	DN 50	Flange	1/4"	330	890	60	219	674	2150
MODULINE	MTBF-0201-AD10-080D	2	01	40	SS	10	160	30	127	DN 80	Flange	1/4"	330	518	49	219	834	1360
	MTBF-0202-AD10-080D	2	02	80	SS	10	160	60	139	DN 80	Flange	1/4"	330	913	49	219	834	2140
	MSBF-0201-AD10-080D	2	01	40	SS	10	160	36	131	DN 80	Flange	1/4"	330	618	80	219	660	1500
	MSBF-0202-AD10-080D	2	02	80	SS	10	160	64	147	DN 80	Flange	1/4"	330	1013	80	219	660	2270
TOPLINE-Dual	TBF-0201-AS10-080D	2	01	40	SS	10	160	30	110	DN 80	Flange	1/4"	400	260	232	219	400	1380
	TBF-0202-AS10-080D	2	02	80	SS	10	160	60	130	DN 80	Flange	1/4"	400	655	232	219	400	2140
POLYLINE	PBF-0101-PO10-050B	1	01	12	PPL	10	20	25	23	2"	BSP	1/4"	83	610	86	263	156	1380
	PBF-0102-PO10-050B	1	02	24	PPL	10	20	36	29	2"	BSP	1/4"	83	1016	86	263	156	1380
	PBF-0101-PO10-050D	1	01	12	PPL	10	20	25	25	DN 50	Flange	1/4"	83	610	86	263	219	1380
	PBF-0102-PO10-050D	1	02	24	PPL	10	20	36	31	DN 50	Flange	1/4"	83	1016	86	263	219	2140
	PBF-0102-PF06-050D	1	02	24	PVDF	7	20	36	46	DN 50	Flange	1/4"	83	1016	86	263	219	2140
	DPBF-0201-PO10-050D	1+1	01	12	PPL / PVC	10	20	53	74	DN 80	Flange	1/4"	160	990	132	263	760	1620
FLOWLINE	DPBF-0202-PO10-050D	1+1	02	24	PPL / PVC	10	20	78	86	DN 80	Flange	1/4"	160	1400	132	263	760	2360
	FBF-0101-AD10-050B	1	01	20	SS	10	120	15,5	17	2"	BSP	1/4"	489	85	195	150	1040	
	FBF-0102-AD10-050B	1	02	40	SS	10	120	27	23	2"	BSP	1/4"	884	85	195	150	1820	
	FBF-0101-AD10-050D	1	01	20	SS	10	120	15,5	21,5	DN 50	Flange	1/4"	487	85	195	150	1040	
ECOLINE	EBF-0102-AD10-050D	1	02	40	SS	10	120	27	27	DN 50	Flange	1/4"	882	85	195	150	1820	
	EBF-0103-AC03-040B	1	03	6	SS	9	120	3	3,5	1 1/2"	BSP	1/4"	299	60	114	110	860	
	EBF-0104-AC09-040B	1	04	12	SS	9	120	4,5	4,5	1 1/2"	BSP	1/4"	454	60	114	110	970	
	EBF-0101-AC05-050B	1	01	20	SS	6	120	15,5	7,5	2"	BSP	1/4"	489	70	195	150	1025	
ECOLINE	EBF-0102-AC05-050B	1	02	40	SS	6	120	27	11	2"	BSP	1/4"	884	70	195	150	1805	

2) Maximum theoretical flow based on water viscosity, bar specific

1) SS = Austenitic Stainless Steel SS 316 and CF8M or better

Product Codes

D	V	MBF	04	02	AC	10	050	D
D-DUOLINE	V-CLIC-LOCK-Quick closure	MDE-MAXILINE	No. of bags	Bag Size	Material	Pressure rating	Connection Size	Connection Type
M-MODULINE	T-T-Bolt closure	MBF-MAXILINE	01, 02,	01-short 7"	AC- SS 316Ti	06-6bar	040-DN40	B-BSP female
		TBF-TOPLINE	04, 08,	02-long 7"	AS-min. SS 316	07-7bar	050-DN50	D-DIN flange
		SBF-SIDELINE	12, 16,	03-short 4"	AD-min. SS 316/CF8M	09-9bar	080-DN80	
		PBF-POLYLINE	20, 24	04-long 4"	PO-PPL Polypropylene	10-10bar	100-DN100	
		FBF-FLOWLINE			PF-PVDF	16-16bar	150-DN150	
		EBF-ECOLINE					250-DN250	
							300-DN300	
							350-DN350	

Spremnici S1 i S2 su betonski spremnici koji su prekriveni kako ne bi došlo do dodatnog onečišćenja vode u njima.

SPREMNIK S1

Proračun sprem. napravljen je na osnovu volumnog protoka sirove vode u spremnik $Q=35 \text{ [m}^3/\text{h]}$ i vremena punjenja spremnika S1 $\tau=8 \text{ [h]}$ [1].

Volumen spremnika računa se prema:

$$V_1=Q*\tau=280 \text{ [m}^3\text{]}.$$

Na koncu je odabran nešto veći spremnik zapremine:

$$V_1=300 \text{ [m}^3\text{]}.$$

Konačne dimenzije spremnika S1 su sljedeće:

$$\Phi 10 \times 4 \text{ [m]}.$$

SPREMNIK S2

Proračun spremnika S2 napravljen je na osnovu volumnog protoka filtrirane vode u spremnika $Q=35 \text{ [m}^3/\text{h]}$ i vremena punjenja spremnika S2 $\tau=5 \text{ [h]}$ [1].

Volumen spremnika računa se prema:

$$V_2=Q*\tau=190 \text{ [m}^3\text{]}.$$

Na koncu je odabran nešto veći spremnik zapremine:

$$V_2=200 \text{ [m}^3\text{]}.$$

Konačne dimenzije spremnika S1 su sljedeće:

$$\Phi 9 \times 3 \text{ [m]}.$$

6.2. DIMENZIONIRANJE R/O JEDINICE

Jedinica za reverznu osmozu odabire se kao optimizacija između kvalitete permeata, investicijskih troškova i pogonskih troškova, te predviđenog vijeka trajanja pojedine membrane i cjelokupnog postrojenja.

Kako je riječ o turističkom mjestu koje ima velik broj zdenaca, prioritet se ne stavlja na veliki stupanj iskorištenja. Pa se zbog toga odabire sustav sa stupnjem iskorištenja sirove vode između 60 i 65[%].

Uzimajući u obzir cijenu pojedine membrane i kvalitetu pročišćene vode tj. permeata, odabrao sam sustav R65(4,4/3,2)-RC. U ovom slučaju korištene su membrane proizvođača Dow Chemical. Dakle korištena je membrana BW30LE-440. Membrana je prikazana na idućoj slici [18]:



Slika 6.2. Membrana BW30LE-440.

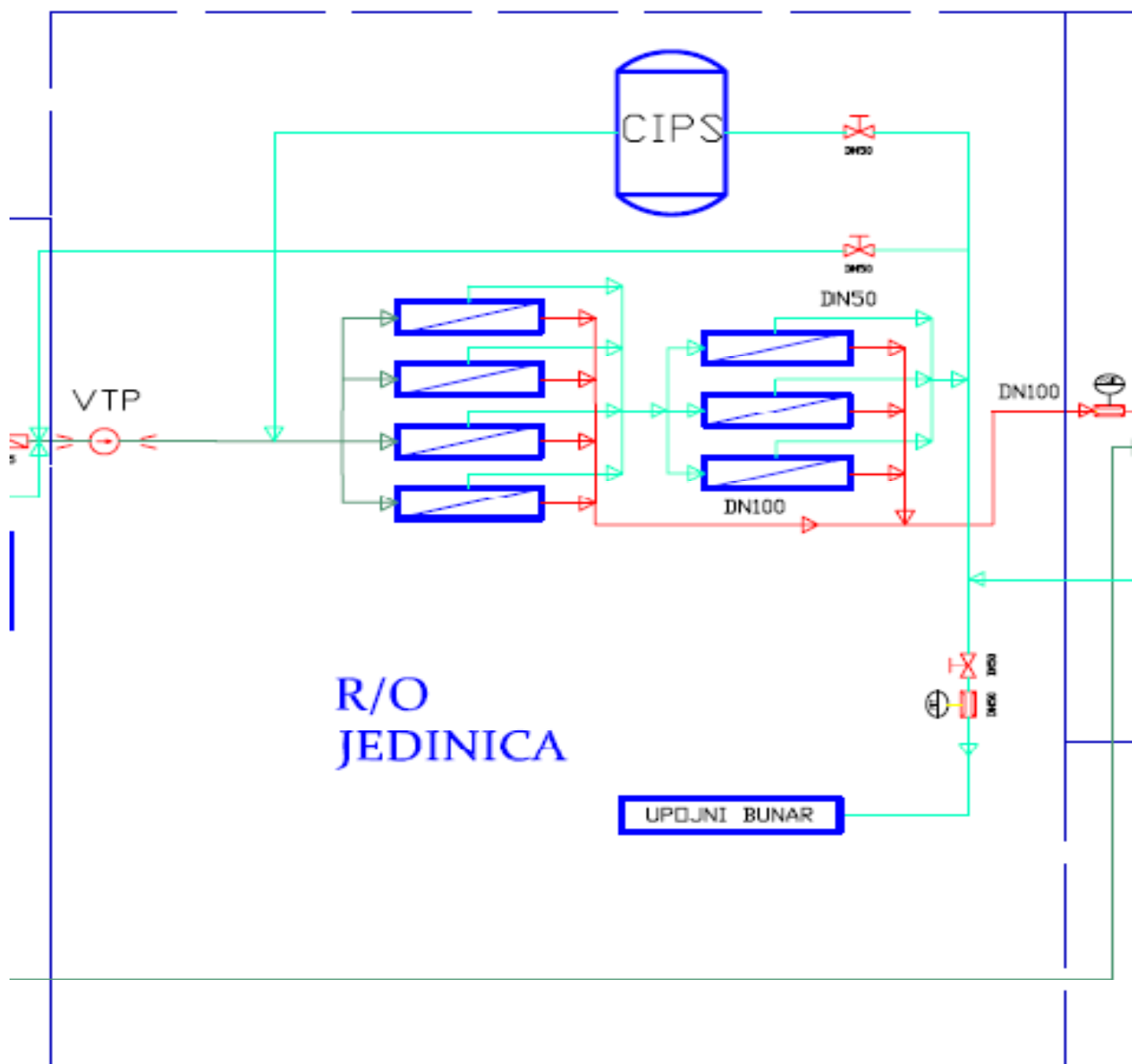
Riječ je o recirkulirajućem sustavu (od 1,5 [m³/h]) čiji je stupanj iskoristivosti 65[%], a koji je načinjen u dva nivoa. U prvom nivou nalazi se 4 tlačne cijevi i unutar svake cijevi 4 membranska elementa, dok se u drugom stupnju nalazi 3 tlačne cijevi i unutar svake cijevi 2 membranska elementa.

Kompletan cjevovodni sustav je načinjen od nehrđajućeg čelika i to na sljedeći način [19][20]:

Dio RO jedinice	Nazivni promjer cjevovoda
Ulaz sirove (filtrirane) vode	DN100
Permeat – dio vode koji je prošao kroz membranu	DN100
Koncentrat – dio vode koji nije prošao membranu	DN50

Tablica 6.2.1. Odabrani promjeri pojedine dionice sustava cjevovoda.

Shematski prikaz sustava prikazan je na sljedećoj slici:



Slika 6.2.1. Shematski prikaz reverzno-osmotske jedinice.

Za ovaj sustav odabrana je visoko-tlačna pumpa : CR 45-9 nazivne snage $P_n = 37$ [kW] i stupnja iskoristivosti $\eta = 79$ [%]. Njen osnovni zadatak sastoji se u tome da ostvari dovoljan porast tlaka filtrirane vode kako bi se postigao traženi stupanj iskorištenja sirove vode. Radna točka sustava definirana je $Q = 36,5$ [m³/h] (protok filtrirane svježe vode od 35 [m³/h] i protok povratnog recirkulirajućeg koncentrata 1,5 [m³/h]) i visina dobave $H = 201,5$ [m].

Sustav u grani povratnog koncentrata ima razdjelnik koncentrata. Njegova osnovna zadaća se sastoji u tome da osigura protok povratnog koncentrata od 1,5 [m³/h]. Dok se višak koncentrata pohranjuje u upojni bunar.

6.3. POSTOBRADA VODE

Obzirom na veoma velik broj različitih tehnologija za obradu vode, bilo je potrebno odrediti najoptimalnije rješenje u tom pogledu. Kako dodavanje lužine (kao što su KOH, NaOH idr.) može u malim koncentracijama izazvati velike promjene pH vrijednosti vode, došlo se do zaključka kako bi predobradu vode bilo najbolje napraviti pomoću remineralizatora.

Količina kemijskih tvari u permeatu dana je sljedećom tablicom:

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	32.88	32.88	67.26	88.26	2.44	5.78	3.05
Na	1343.03	1352.07	2859.07	3820.73	17.16	44.61	22.21
Mg	177.19	177.19	375.93	503.40	1.14	2.87	1.46
Ca	202.62	202.62	429.95	575.76	1.26	3.22	1.62
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃	1.84	1.84	7.21	11.78	0.00	0.00	0.00
HCO ₃	195.03	195.03	405.40	537.27	2.83	6.97	3.59
NO ₃	25.92	25.92	51.17	65.81	3.55	8.32	4.43
Cl	2525.00	2525.00	5342.72	7142.46	29.04	75.48	37.59
F	0.19	0.19	0.40	0.54	0.00	0.01	0.00
SO ₄	452.74	452.74	961.48	1288.23	2.08	5.22	2.66
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	3.53	3.53	5.44	6.90	3.92	5.65	4.24
TDS	4956.45	4965.49	10500.59	14034.25	59.49	152.48	76.61
pH	7.77	7.77	7.82	7.80	6.11	6.32	6.17

Tablica 6.3.1. Sastav premeata nakon obrade.

Prvenstveno valja obratiti pozornost na pH vrijednost permeata koja nakon R/O obrade iznosi 6,17. Prema napatku Svjetske zdravstvene organizacije pH vrijednost vode za piće treba biti između 6,5 i 8,5. Definicija pH vrijednosti određena je izrazom:

$$pH = -\log[H^+].$$

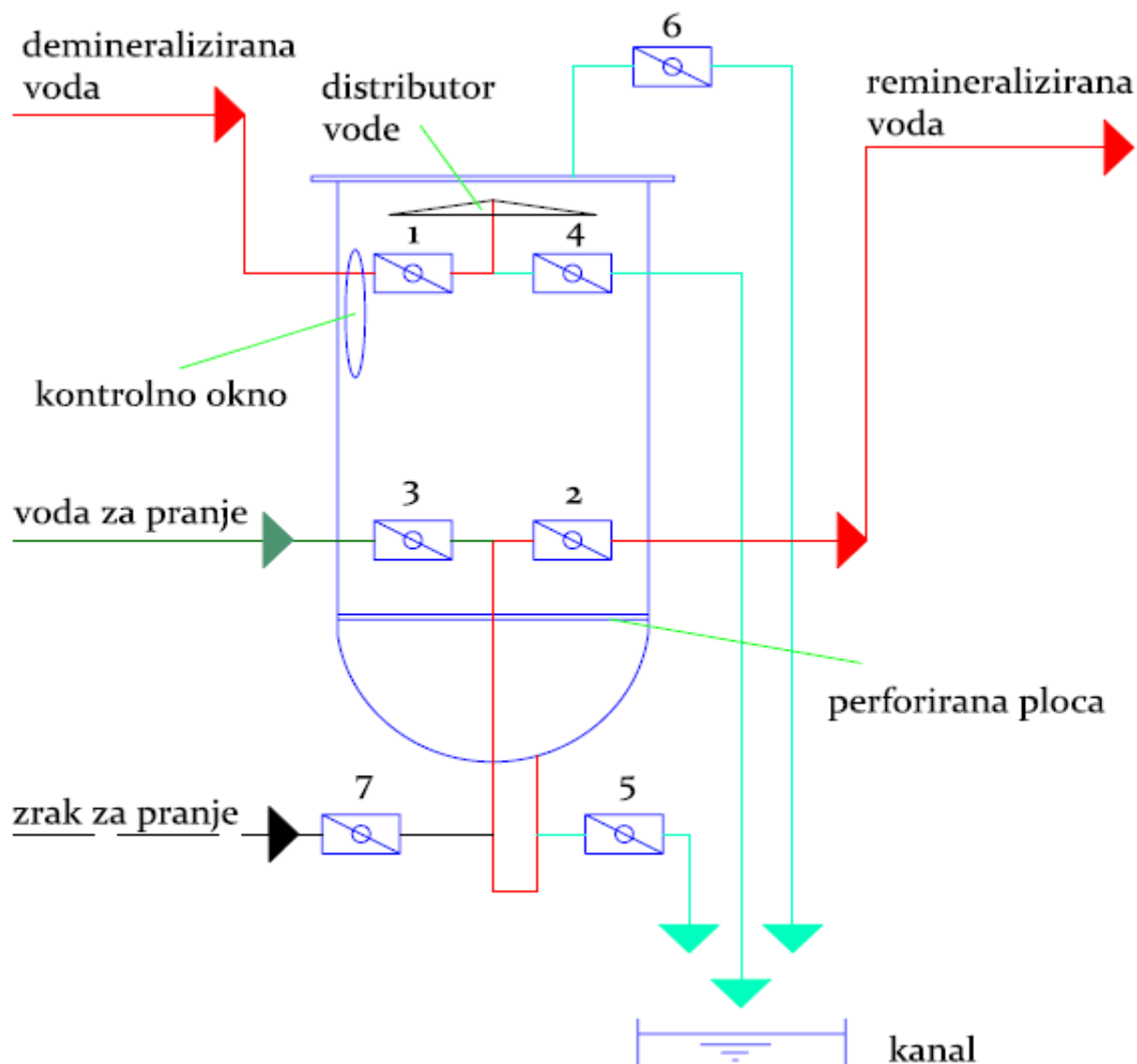
Dakle, važno je naglasiti kako je količina kalcija Cl samo 37,59 [mg/l], dok je količina magnezija Mg svega 1,46 [mg/l]. Ovako niska razina otopljenih minerala uzrokuje neugodan okus vode; preporuča se 65 [mg/l] Ca za pitku vodu (preporuka Svjetske zdravstvene organizacij). Zbog toga se pristupa postupku remineralizacije pomoću remineralizacijskog uređaja.

Točne vrijednosti pojedinih otopljenih tvari u vodi za piće definirane su Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće donesenog 22.12.2004 godine; a koji je dan u Prilogu.

REMINERALIZACIJA

Remineralizator je uređaj za obogaćivanje vode mineralima koji je namijenjen vodama izrazito siromašnim količinom otopljenih minerala (npr. premeat iz R/O uređaja ili destilat iz uređaja za destilaciju vode). Obzirom da vode nakon ovih obrada posjeduju male količine otopljenih minerala i velike količine plinova, zbog pojave velikih količina agresivnog ugljičnog-dioksida CO₂ dolazi do agresivnog djelovanja prema materijalima koji čine sustav postobrade vode.

Sljedeća slika prikazuje shematski prikaz remineralizatora [21]:



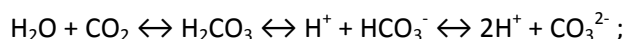
Slika 6.3.1. Shematski prikaz remineralizatora.

Osnovni zadaci uređaja za remineralizaciju su:

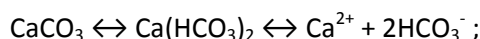
1. neutralizacija slobodne ugljične kiseline – H_2CO_3 ;
2. obogaćivanje vode kalcijevim i magnezijevim spojevima.

Proces remineralizacije zasniva se na slobodnom strujanju vode preko granuliranog karbonatnog materijala.

Obzirom na postojanje agresivnog ugljičnog-dioksida CO_2 , dolazi do pojave njegova spajanja sa vodom. Odvijaju se sljedeći kemijski procesi:



Zbog toga je permeat nakon R/O obrade uvijek u kiselom području. Takva voda snižene pH vrijednosti otapa inače netopiv kalcijev karbonat. Odvijaju se sljedeći procesi:



Ovaj proces neutralizira ugljičnu kiselinu i obogaćuje vodu kalcijevim solima tj. povećava pH vrijednost i tvrdoću.

DIMENZIONIRANJE REMINERALIZATORA

Remineralizator je uređaj koji mora raditi u sljedećim režimima:

1. redovan rad – remineralizaciju uz odgovarajuću distribuciju vode, te kontaktno vrijeme vode i sredstva za remineralizaciju;
2. kontrolu tlaka i razine sredstva za remineralizaciju;
3. povratno pranje i rahljenje sredstva vodom i zrakom;

Kako protok permeata iznosi $Q_{\text{permeata}} = 22,75 \text{ [m}^3/\text{h]}$, a brzina strujanja mora biti između $w = 10 - 30 \text{ [m/h]}$. Odabrana je brzina strujanja od $w = 15 \text{ [m/h]}$. Pojedini parametri remineralizatora dobiveni su interpolacijom prema iskustvenim vrijednostima primjenom jednadžbe pravca kroz dvije točke:

$$x - x_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} * (x - x_1)$$

Ovisnost potrebnog promjera remineralizatora o brzini strujanja vode za različite protoke dana je sljedećom tablicom [21]:

Protok [m^3/h]	1	5	10	15	30
Promjer za $w = 15 \text{ [m/h]}$	300	650	1000	1200	1600

Tablica 6.3.2. Iskustvene vrijednosti ovisnosti promjera remineralizatora o protoku.

Interpolacijom je dobiven promjer remineralizatora $d_{\text{rem}} = 1410 \text{ [mm]}$ za brzinu strujanja od $w_{\text{rem}} = 15 \text{ [m/h]}$.

Ovisnost potrebnog volumena sredstva za remineralizaciju i potrebne mase sredstva za remineralizaciju o promjeru posude za remineralizaciju dana je sljedećom tablicom [21]:

Promjeri posude za remineralizaciju [mm]	100	300	500	1000	1500
Potrebni volumen sredstva za remineralizaciju [l]	47,1	106	294,4	1177,5	2649,4
Potrebna masa sredstva za remineralizaciju [kg]	70	160	440	1767	3975

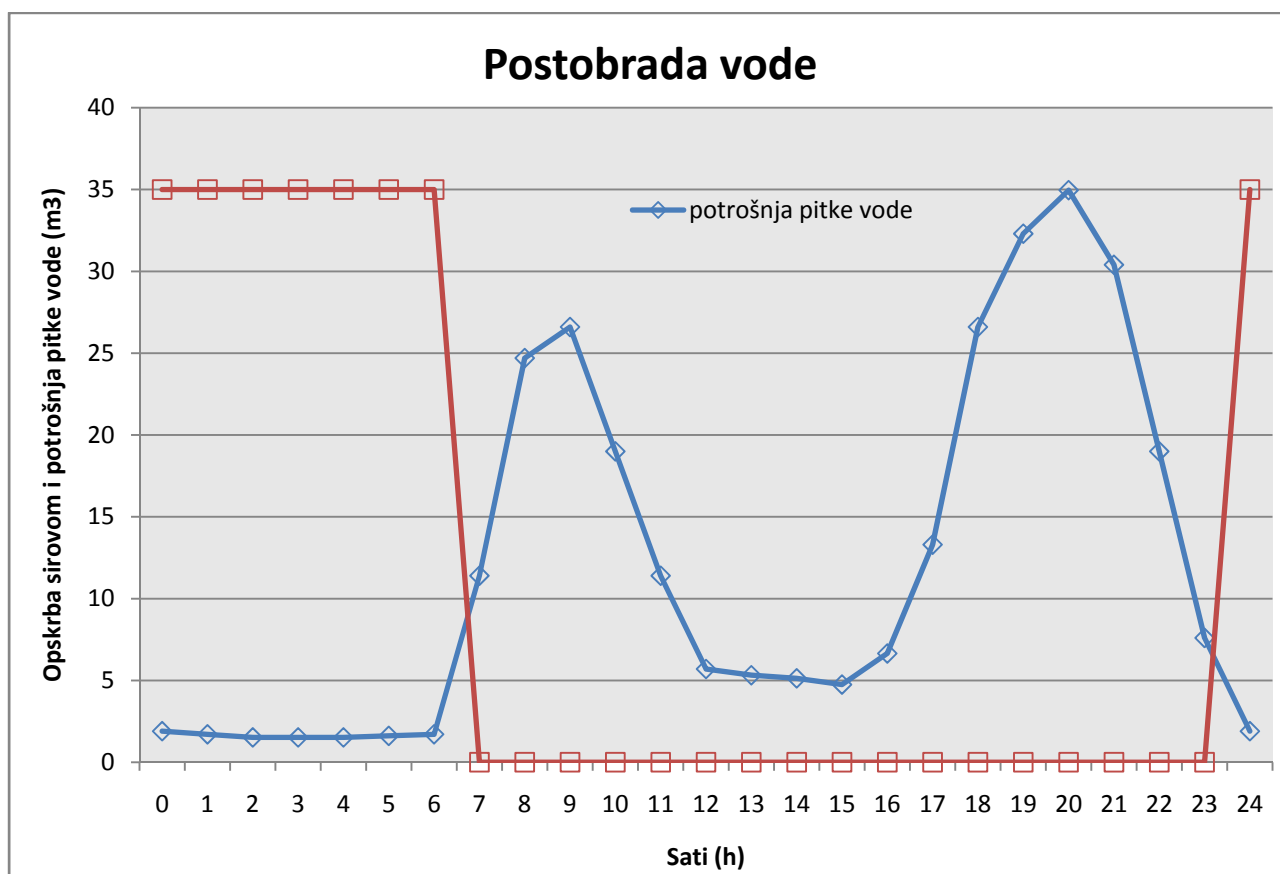
Tablica 6.3.3. Iskustvene vrijednosti potrebnog volumena i mase sredstva za remineralizaciju.

Interpolacijom su dobiveni potrebni volumen sredstva za remineralizaciju $V_{rem} = 2385 \text{ [dm}^3\text{]} = 2,385 \text{ [m}^3\text{]}$ i potrebna masa sredstva za remineralizaciju $m_{rem} = 3578 \text{ [kg]} = 3,578 \text{ [t]}$.

7. PRIKAZ POTROŠNJE KEMIKA LIJA I SPECIFIČNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

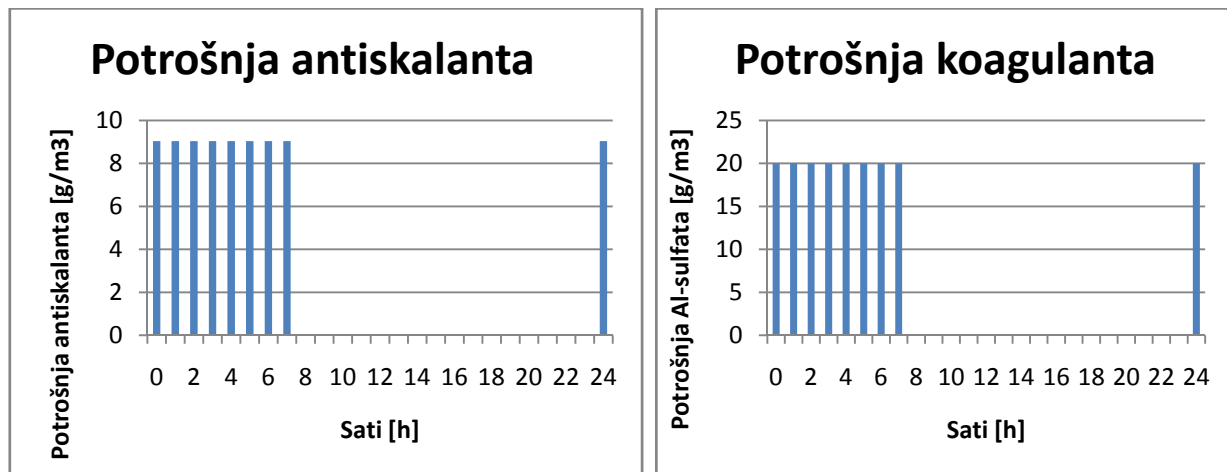
Potrošnja vode prati dijagram potrošnje turističkog naselja. Tako da je riječ o karakteristici koja posjeduje dva lokalna maksimuma potrošnje pitke vode: prvi oko 9 [h] i drugi oko 20 [h].

Uzimajući u obzir želju investitora da se priprema pitke vode odvija tijekom noćnih sati, spremnik sirove vode se puni u razdoblju od 23 do 7 [h] [22].



Dijagram 7.1. Prikaz proizvodnje i potrošnje pitke vode.

Potrošnja kemikalija dana je sljedećim dijagramima:



Dijagram 7.2. Prikaz potrošnje antiskalanta i koagulanta tijekom dana.

Pregled potrošnje specifične električne energije dana je sljedećom tablicom:

Pumpa	Nazivna snaga [kW]	Proračunska snaga [kW]	Stupanj djelovanja [%]	Radna snaga [kW]	Potrošnja spec.el.energije [kWh/m³]
CRP	18,5	12,213	75	13,875	1 013,812
NTP	5,5	Čisti filter-3,363	77	4,235	269,37
		Prljavi filter-3,525	79	4,345	313,45
VTP	37	21,14	79	29,23	1 973,75
Ukupno	$\Sigma = 61$	$\Sigma_1 = 36,716$	-	$\Sigma_1 = 47,34$	$\Sigma_1 = 3 256,932$
		$\Sigma_2 = 36,878$		$\Sigma_2 = 47,45$	$\Sigma_2 = 3 301,012$

Tablica 7.1. Pregled potrošnje specifične el.energije postrojenja.

8. ZAKLJUČAK

Tehnologija reverzne osmoze danas predstavlja jedno od najvećih otkrića u razdoblju prošlog stoljeća. Njen značaj, ali i uloga u ljudskom životu svakim danom postaje sve veća. Ona svoj razvoj prvenstveno može zahvaliti razvoju jedne nove grane tehnologije - „nanotehnologiji“.

Primjena membranskih postupaka pročišćavanja vode počela je razvojem vojne industrije u razdoblju Hladnog rata. Iako je to bilo vrijeme velikih napetosti i suludog nadmetanja u količini i efikasnosti naoružanja, došlo se i do ponekih otkrića koja danas nalaze svakodnevnu primjenu u čovjekovu životu. Jedno od tih je i tehnologija reverzne osmoze i nanofiltracije.

Tehnologija reverzne osmoze i nanofiltracije omogućuje dobivanje vode takve kvalitete da se ona može koristiti i u najosjetljivijim područjima ljudske djelatnosti poput medicine i farmaceutske industrije. Sustavi reverzne osmoze danas imaju najveću primjenu u pripremi kvalitetne pitke vode.

Razvoj kemijske industrije omogućio je primjenu takvih materijala koji su uvelike snizile cijenu uređaja za tehnologiju reverzne osmoze. Obzirom na to pretpostavlja se kako ta tehnologija tek očekuje revolucionarnu primjenu u svakodnevnom životu. Jer ona posjeduje relativno velik razvojni potencijal.

Kako je pitanje kvalitetne pitke vode pitanje života i opstanka, tako ta tehnologija postiže sve veći značaj. Poglavitito ako se uzme u obzir kako se u budućnosti očekuju velike sigurnosne i gospodarske krize zbog nestašica pitke vode.

Uloga ove tehnologije u razvoju gospodarstva RH u cijelini prvenstveno ovisi o materijalnim mogućnosti pojedine regije. Ako uzmemo u obzir da je turizam najveći hrvatski izvozni proizvod, onda osobito valja naglasiti kako ovom tehnologijom možemo uvelike doprinijeti razvoju cjelokupnog gospodarstva RH i država u regiji. Kako je riječ o tzv. „zelenoj tehnologiji“ tada bi i administrativni procesi trebali biti nešto kraći i jednostavniji.

Ovaj rad se odnosi na postrojenje manjih kapaciteta u manjim turističkim mjestima. U njemu je stavljen naglasak na odabir odgovarajuće opreme i optimizaciju investicijskih i pogonskih troškova.

Postrojenima za RO tehnologiju u svakom slučaju treba pružiti odgovarajuću mogućnost da razviju svoj ukupni potencijal u potpunosti. Takvim postrojenjima postiže se relativno velika fleksibilnost tokom cijele godine. A uzimajući u obzir investicijske troškove i troškove održavanja, ona posjeduju i veliku isplativost. Koliki će se ispuniti od toga potencijala ostaje na nama da vidimo i pokušamo doprinjeti njegovu razvoju.

Moj zaključak je kako treba omogućiti i podržati razvoj ove tehnologije u svih dijelovima našega gospodarstva. Riječ je o tehnologiji koja je budućnost, ali koja mora biti i naša sadašnjost. Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju smatram kako će to biti ispunjeno. Poglavitito ako namjeravamo očuvati okoliš i zadržati reputaciju kao jedno od najčišćih i najkvalitetnijih turističkih odredišta.

Popis literature

- [1] Podloge za slušanje Kolegija „Voda, gorivo i mazivo“, FSB 2007
- [2] Efikasnost uređaja za odvajanje nečistoća-usporedba: www.lipincic.com
- [3] FILMTEC Reverse Osmosis Membranes-Technical manual, Dow
- [4] Tehnologija izrade i princip rada RO membrane:http://www.edstrom.com/products.cfm?doc_id=191
- [5] Ondeo Degremont, Water treatment handbook
- [6] Komercijalni RO sustav: www.aquaprojekt.hr
- [7] Vodopskrbni sustav otoka Krka-Stara Baška; Ponikve-Krk 2003
- [8] Virag Zdravko, Mehanika fluida:odabrana poglavlja,primjeri i zadaci, FSB Zagreb 2002
- [9] Šavar Mario, Hidrodinamika cijevnih mreža; FSB Zagreb 2005
- [10] Kraut Bojan, Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb 1981
- [11] Grundfos Data Booklet SP A,SP-Potopne crpke,potopni motori,pribor 50 Hz.
- [12] Grundfos Data Booklet CR, CRI, CRN, CRE, CRIE, CRNE Vertikalne višestupanjske centrifugalne crpke 50 Hz.
- [13] Grundfos alldos DMI: www.grundfosalldos.com
- [14] Kaeser compressors-Rotary blowers COMPACT series: www.kaeser.com
- [15] Katalog kućišta za filtere, Feller d.o.o: www.feller.hr
- [16] Hayward filtration-filter bags
- [17] Hayward filtration- Bag filter housings
- [18] RO membrana Hydranautics:
<http://www.membranes.com/index.php?pagename=espa>

- [19] Mutchmann Johann, Stimmelmay Fritz, Tashenbuck der wasserversorgng, Franckh`sche Verlags handlung, W.Keller Stuttgart 1983
- [21] Remineralizacija-radni materijal, FSB Zagreb 2007
- [22] Gulić Ivan , Opskrba vodom, HRGI 2000 Zagreb
- [23] Membrana BW30LE-440: <http://rosystems.com/reverse-osmosis/water-treatment-products/BW30LE-440.html>
- [24] Koharić Vladimir, Uod u projektriranje cjevovoda, FSB Zagreb 1982
- [25] Toplinske tablice- interno izdanje, FSB
- [26] Element spec.sheets: www.membranes.com
- [27] Tehnical application bulletins: www.membranes.com
- [28] Tehnical service bulletins: www.membranes.com

Prilog – I dio

Redni br.sustava	Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
1.	ROSA RX(5,5-4,3)	60	11,14 10,08	17,81 14	16,82 7,76	0,66
2.	ROSA RX(5,5-4,3)	65	12,11 11,09	16,12 12,25	18,48 7,88	0,67
3.	ROSA RX(5,5-4,3)	70	13,28 12,31	12,65 12,10	20,29 7,67	0,68
4.	ROSA RX(5,5-4,3)	75	14,76 13,82	14,17 13,66	22,30 7,06	0,70
5.	ROSA RX(5,5-4,3)	80	16,90 16,03	16,37 15,91	24,71 5,61	0,75
6.	ROSA RX(5,5-4,3)	85	20,30 19,50	19,85 19,43	27,40 3,57	0,84
7.	ROSA RX(5,5-4,3)	90	26,97 26,27	26,61 26,23	30,06 1,58	1,05
8.	ROSA RX(5,4-3,3)	60	12,45 11,52	11,86 11,07	20,57 11,37	0,74
9.	ROSA RX(5,4-3,3)	65	13,55 12,65	13,00 12,27	22,53 11,77	0,74
10.	ROSA RX(5,4-3,3)	70	14,85 13,98	14,32 13,66	24,66 11,80	0,75
11.	ROSA RX(5,4-3,3)	75	16,46 15,62	15,97 15,37	27,04 11,27	0,78
12.	ROSA RX(5,4-3,3)	80	18,64 17,85	18,19 17,66	29,81 9,86	0,82
13.	ROSA RX(5,4-3,3)	85	22,13 21,39	21,74 21,27	33,23 7,03	0,92
14.	ROSA RX(5,4-3,3)	90	29,14 28,47	28,81 28,41	37,17 3,02	1,14
15.	ROSA RX(4,4-3,2)	60	14,73 13,59	13,93 13,29	25,97 16,36	0,87
16.	ROSA RX(4,4-3,2)	65	16,07 14,96	15,31 14,70	28,38 17,07	0,88
17.	ROSA RX(4,4-3,2)	70	17,62 16,54	16,89 16,33	30,95 17,36	0,89
18.	ROSA RX(4,4-3,2)	75	19,47 18,45	18,79 18,27	33,75 17,03	0,92
19.	ROSA RX(4,4-3,2)	80	21,88 20,90	21,24 20,77	36,92 15,70	0,96
20.	ROSA RX(4,4-3,2)	85	25,47 24,55	24,89 24,46	40,76 12,62	1,05
21.	ROSA RX(4,4-3,2)	90	32,50 31,67	32,02 31,63	45,66 6,69	1,27
22.	ROSA RX(4,3-3,2)	60	16,79 15,82	16,16 15,50	31,72 22,17	0,99
23.	ROSA RX(4,3-3,2)	65	18,40 17,45	17,79 17,17	34,68 23,39	1,00
24.	ROSA RX(4,3-3,2)	70	20,23 19,30	19,65 19,07	37,83 24,24	1,02
25.	ROSA RX(4,3-3,2)	75	22,39 21,50	21,84 21,30	41,26 24,51	1,05
26.	ROSA RX(4,3-3,2)	80	25,13 24,26	24,61 24,11	45,15 23,88	1,11
27.	ROSA RX(4,3-3,2)	85	29,01 28,18	28,52 28,07	49,85 21,60	1,20
28.	ROSA RX(4,3-3,2)	90	36,08 35,31	35,66 35,25	56,32 15,79	1,41

Redni br.sustava	Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
29.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	60	11,2 10,6	10,6 9,9	19,9 4,8	0,62
30.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	65	11,7 10,9	10,9 10,2	21,6 6	0,65
31.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	70	12,4 11,8	11,8 11,3	22,1 3,9	0,64
32.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	75	14,2 13,7	13,7 13,2	24,6 2,2	0,68
33.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	80	17 16,6	16,6 16,2	27,2 0,5	0,76
34.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	85	22 21,6	21,6 21,3	29 0,1	0,91
35.	IMSDesign RX(5,5/4,3)	90	-	-	-	-
36.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	60	12,5 11,2	11,2 10,2	25,5 11,4	0,75
37.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	65	12,3 11,4	11,8 11,2	24 8,4	0,68
38.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	70	13,4 12,6	12,6 12,1	26,5 7,6	0,69
39.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	75	15 14,2	14,2 13,8	29,5 5,8	0,72
40.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	80	17,6 16,9	16,9 16,5	33,1 2,6	0,79
41.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	85	22,4 21,9	21,9 21,6	36,3 0,1	0,95
42.	IMSDesign RX(5,4/3,3)	90	-	-	-	-
43.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	60	14,1 13,1	13,1 11,8	31,9 8,4	0,85
44.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	65	13,7 12,9	12,9 12,1	36,7 19,5	0,76
45.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	70	14,9 14,2	14,2 13,4	32,6 12,9	0,77
46.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	75	16,3 15,7	15,7 15,1	35,9 11,3	0,78
47.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	80	18,5 17,9	17,9 17,4	39,9 7,7	0,83
48.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	85	22,8 22,4	22,4 22	44,9 1,5	0,96
49.	IMSDesign RX(4,4/3,2)	90	-	-	-	-
50.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	60	14,5 13,2	13,2 12,2	33,5 18,6	0,87
51.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	65	15,5 14,4	14,4 13,4	39,9 22,1	0,86
52.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	70	16,8 13,5	15,6 14,8	40,1 19,7	0,86
53.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	75	18,2 17,2	17,2 16,5	44,1 18,9	0,87
54.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	80	20,2 19,3	19,3 18,7	49 16,1	0,91
55.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	85	23,8 23	23 22,6	56,2 8,8	1,01
56.	IMSDesign RX(4,3/3,2)	90	33,4 32,9	32,9 32,6	64,2 0	1,33

Redni br.sustava	Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
57.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	60	11,32 10,20	10,55 9,86	16,74 7,93	0,70
58.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	65	12,33 11,25	11,60 10,96	18,36 8,12	0,71
59.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	70	13,57 12,53	12,87 12,28	20,13 8,02	0,72
60.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	75	15,14 14,14	14,49 13,95	22,07 7,53	0,75
61.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	80	17,39 16,45	16,79 16,30	24,35 6,35	0,80
62.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	85	21,07 20,21	20,55 21,10	26,99 4,43	0,91
63.	ROSA RX(5,5/4,3)-RC	90	28,32 27,55	27,90 27,49	29,72 2,30	1,15
64.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	60	12,64 11,66	12,00 11,15	20,49 11,55	0,78
65.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	65	13,79 12,84	13,18 12,39	22,42 12,03	0,79
66.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	70	15,16 14,24	14,58 13,86	24,49 12,17	0,80
67.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	75	16,87 15,99	16,33 15,68	26,79 11,82	0,83
68.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	80	19,24 18,40	18,74 18,16	29,45 10,68	0,89
69.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	85	23,00 22,21	22,55 22,03	32,65 8,31	0,99
70.	ROSA RX(5,4/3,3)-RC	90	30,52 29,80	30,15 29,69	36,44 4,64	1,24
71.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	60	14,93 13,72	14,06 13,38	25,89 16,58	0,92
72.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	65	16,33 15,16	15,50 14,86	28,27 17,38	0,93
73.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	70	17,96 16,82	17,17 16,57	30,79 17,80	0,95
74.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	75	19,95 18,85	19,20 18,64	33,51 17,65	0,98
75.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	80	22,58 21,54	21,88 21,37	36,58 16,61	1,04
76.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	85	26,57 25,58	25,93 25,46	40,19 14,10	1,15
77.	ROSA RX(4,4/3,2)-RC	90	34,43 33,53	33,88 33,46	44,76 9,08	1,40
78.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	60	17,05 16,02	16,37 15,66	31,57 22,50	1,05
79.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	65	18,66 17,66	18,01 17,35	34,54 23,69	1,06
80.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	70	20,59 19,61	19,96 19,34	37,62 24,65	1,08
81.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	75	22,91 21,96	22,30 21,73	40,97 25,08	1,12
82.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	80	25,92 25,00	25,35 24,82	44,74 24,68	1,19
83.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	85	30,33 29,46	29,80 29,32	49,23 22,84	1,31
84.	ROSA RX(4,3/3,2)-RC	90	38,62 37,80	38,14 37,70	55,12 18,21	1,57

Napomena: U prethodnoj tablici osjenčan je odabrani R/O sustav.

Redni br.sustava	Vrsta sustava	Stupanj iskorištenja [%]	Ulazni tlak [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Tlak koncentrata [bar] 1.stupanj 2.stupanj	Prosječni fluks [l/m ² h] 1.stupanj 2.stupanj	Specifična energija [kWh/m ³] 1.stupanj 2.stupanj
85.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	60	10,5 9,8	9,8 8,9	17,9 5,4	0,66
86.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	65	11,4 10,7	10,7 10	19,8 5,1	0,66
87.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	70	12,6 12	12 11,3	21,9 2,9	0,68
88.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	75	14,4 13,8	13,8 13,2	24,3 2,4	0,72
89.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	80	17,2 16,7	16,7 16,2	26,9 1	0,81
90.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	85	22 21,7	21,7 21,3	29,1 0,1	0,97
91.	IMSDesign RX(5,5/4,3)-RC	90	-	-	-	-
92.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	60	11,6 10,6	10,6 9,8	21,7 8,8	0,73
93.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	65	12,6 11,6	11,6 10,9	23,9 8,8	0,73
94.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	70	13,3 12,5	12,5 12	24,7 6,9	0,72
95.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	75	15,3 14,5	14,5 14	29,1 6,6	0,77
96.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	80	17,8 17,1	17,1 16,7	32,6 3,7	0,83
97.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	85	22,6 22	22 21,6	36,1 0,6	1
98.	IMSDesign RX(5,4/3,3)-RC	90	-	-	-	-
99.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	60	12,9 12,1	12,9 11	27,1 13,3	0,81
100.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	65	14 13,2	13,2 12,2	29,7 13,7	0,81
101.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	70	15,2 14,4	14,4 13,6	32,4 13,4	0,81
102.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	75	16,8 16	16 15,3	35,6 12,1	0,84
103.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	80	19 18,4	18,4 17,8	39,4 9	0,89
104.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	85	23,2 22,6	22,6 22,1	44,2 3,4	1,02
105.	IMSDesign RX(4,4/3,2)-RC	90	-	-	-	-
106.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	60	14,7 13,4	13,4 12,3	33,5 18,7	0,92
107.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	65	15,9 14,6	14,6 13,5	36,6 19,6	0,92
108.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	70	17,2 15,9	15,9 15	39,9 20	0,92
109.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	75	18,7 17,6	17,6 16,8	43,8 19,4	0,94
110.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	80	20,9 19,8	19,8 19,2	48,5 17,1	0,98
111.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	85	24,6 23,6	23,6 23,1	55 11,2	1,09
112.	IMSDesign RX(4,3/3,2)-RC	90	33,7 33	33 32,6	63,6 1,3	1,4

